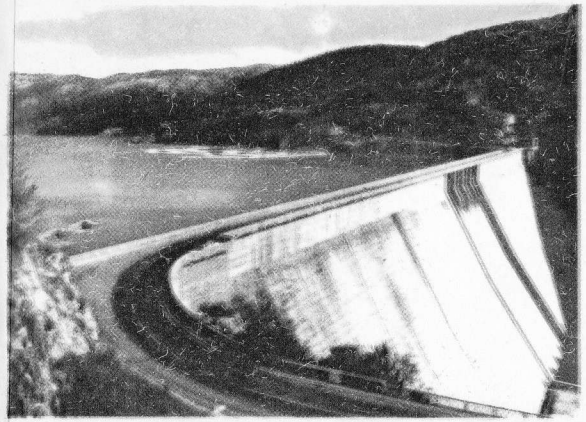
Lucrarea se adresează publicului larg, interesat de „tainele" sistemelor energetice. Cum este produsă energia electrică ? Ce este o centrală electrică și cum funcționează ? Cîte feluri de centrale electrice există ? Cum este transportată energia electrică la mari distanțe ? Cum este ea transformată la diverse tensiuni și distribuită la consumatori ? Cum este alimentată locuința noastră ? Ce este o stație electrică ? Dar o rețea ? Ce este termoficarea și cum este realizată ? Ce este un sistem energetic ? Care sînt problemele cu care se confruntă marile sisteme energetice ? Cum au luat ființă acestea ? Dar sistemul energetic național ? Cum se reglează frecvența și tensiunea curentului electric ? Ce sînt DAS-urile și cît de necesare sînt ele ? Ce este Dispecerul Energetic Național și care este rostul său ? Cum pot contribui consumatorii la buna funcționare a sistemului energetic ? Care sînt perspectivele ? Iată numai cîteva din întrebările cărora această carte încearcă și izbutește să le dea un incitant răspuns.

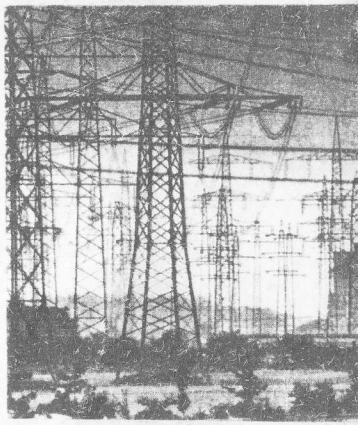
colecția cristal

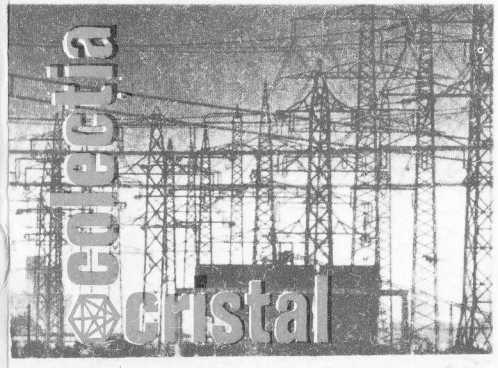
Lei 12

SISTEMUL ENERGETIC
de la centrala electrică la consumator
CONSTANTIN HANDREA

CONSTANTIN HANDREA







SISTEMUL ENERGETIC

de la centrala electrică la consumator

EDITURA ALBATROS

Omenirea consumă tot mai multă energie. Dacă în anul 1928 consumul mondial era de 1,8 miliarde tone combustibil convențional, el a ajuns la 2,8 miliarde tcc în 1960, 7 miliarde tcc în 1970, 8,1 miliarde tcc în 1975, 9,3 miliarde tcc în 1980, pentru ca astăzi să depășească 10 miliarde tcc. Dezvoltarea considerabilă în ultima sută de ani și în special în ultimele decenii a producției industriale și agricole, a construcțiilor, transporturilor și telecomunicațiilor, precum și creșterea nivelului de trai al oamenilor, au condus la o creștere rapidă a producției și consumului de energie de toate felurile. Nici o economie nu poate progresa fără asigurarea unei baze energetice corespunzătoare. De aceea energetica a devenit una din cele mai dinamice ramuri industriale.

Dacă în trecut problemele energetice erau în atenția numai a unor cercuri restrînse de specialiști (oameni de știință, tehnicieni, economiști) și a unor factori de decizie, în momentul de față acestea au devenit o preocupare generală, interesînd cercuri foarte largi. Energia influențează într-o foarte mare măsură întreaga viață economică și socială, constituie una din condițiile hotărîtoare ale dezvoltării și progresului.

Evenimentele de la începutul deceniului opt, legate de „criza petrolului" și „criza energetică", au impus reconsiderarea unor idei și reabordarea unor concepte de dezvoltare economică și socială ce păreau unanim și definitiv acceptate. Ele au arătat că nimeni nu se mai poate considera „în afara problemelor energetice", că poziția de „consumator de energie" indiferent față de mărimea acestui consum și de problemele producătorului de energie nu mai este posibilă. Economia a numeroase țări, și în special a celor dezvoltate industrial, depinde într-o măsură hotărîtoare de disponibilitățile de energie și de mijloacele de a și-o procura.

Dintre toate formele sub care se consumă energia un loc deosebit îl ocupă energia electrică. Dacă în anul 1965, pe plan mondial, circa 20% din energia primară consumată a fost transformată în energie electrică, în anul 1980 ponderea acesteia în consumul total de energie a crescut la circa 30%, urmînd ca în anul 2000 să fie de peste 40%, după unele prognoze chiar de 45%. În nici o țară din lume, indiferent de gradul ei de dezvoltare, nu se observă încă vre-un fenomen de saturație, de stagnare a creșterii în ritmuri ridicate a producției și consumului de energie electrică. Faptul că poate fi obținută, cu randamente bune, din oricare altă formă de energie, că pot fi întrebuințați pentru producerea ei chiar combustibili inferiori, care nu își găsesc întrebuințare în alte domenii, sau combustibili nucleari, că poate fi transportată ușor la distanțe mari și poate fi distribuită pe suprafețe întinse, că poate fi utilizată în cele mai diverse scopuri și în cantități de la cele mai mici la cele mai mari, că poate fi transformată relativ ușor la locul de consum în alte forme de energie, că este „curată", că poate fi întrebuințată în orice moment etc., a făcut ca producția de energie electrică să cunoască o dezvoltare deosebită.

Pentru a ajunge la consumatori, energia electrică trebuie să fie însă produsă în centralele electrice, să fie transformată la diverse tensiuni, să fie transportată la mari distanțe prin rețelele de transport și distribuită la consumatori prin rețelele de distribuție. Toate instalațiile de producție, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice sînt legate între ele, formează un tot unitar, sînt într-o strînsă interdependență funcțională, alcătuind împreună sistemul energetic. Cel mai umil bec electric alimentat de la rețea face parte din sistemul energetic, funcționarea sa fiind strîns legată de funcționarea de ansamblu a sistemului.

Tot mai mulți oameni, din toate ramurile de activitate, vin în contact cu tehnica și cu problemele energiei electrice, atît în activitatea lor profesională, cît și în viața de toate zilele. Din această cauză crește neîncetat interesul față de procesele de producție, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice.

Cum este produsă energia electrică? Ce este o centrală electrică și cum funcționează? Cîte feluri de centrale electrice există? Cum este transportată energia electrică la mari distanțe? Cum este ea transformată la diverse tensiuni și distribuită la consumatori? Cum este alimentată locuința noastră? Ce este o stație electrică? Dar o rețea? Ce este termoficarea și cum este realizată? Ce este un sistem energetic? Care sînt problemele cu care se confruntă marile sisteme energetice? Cum au luat ființă acestea? Dar sistemul energetic național? Cum se reglează frecvența și tensiunea curentului electric? Ce sînt DAS-urile și cît de necesare sînt ele? Ce este Dispecerul Energetic Național și care este rostul său? Cum pot consumatorii contribui la buna funcționare a sistemului energetic? Care sînt perspectivele de viitor? Iată numai cîteva din întrebările la care această carte urmărește să dea un răspuns.

Lucrarea se adresează publicului larg, care dorește să se inițieze în „tainele" sistemelor energetice și în problemele cu care se confruntă acestea.

Autorul ține să mulțumească și pe această cale colegilor săi ing. Petre Iftimie și ing. Dorin Săndulache, pentru contribuția la elaborarea capitolului privind centralele electrice, precum și tov. ing. Iuliu Blechthal, pentru îndrumările și sfaturile sale.

AUTORUL

CAPITOLUL 1

DE LA TALES DIN MILET LA CENTRALELE ELECTRICE NUCLEARE

Că problema folosirii unor surse de energie a preocupat omul din cele mai vechi timpuri reiese și din faptul că vechii chinezi considerau ca elemente fundamentale, pe lîngă cele care se regăsesc la majoritatea popoarelor (apa, focul, pămîntul și aerul), și tunetul, muntele, lemnul și apa curgătoare, fiind evident că focul, tunetul și apa curgătoare reprezentau dorința omului de a utiliza sursele de energie primară.

În mitologia greacă întîlnim pe Prometeu, considerat drept binefăcător al oamenilor, în pofida lui Zeus. Cînd părintele zeilor s-a răzbunat pe muritori luîndu-le focul, Prometeu a găsit mijlocul să-l fure din ceruri și să-l readucă pe pămînt, făcînd astfel posibilă dezvoltarea meșteșugurilor. Un corespondent al lui Prometeu găsim și în mitologia chineză: „Suijen a dobîndit focul sfredelind un copac și i-a învățat pe oameni să-și fiarbă hrana. El i-a săturat pe oameni, îndestulîndu-i, le-a îndreptat firea, i-a învățat să se ferească de putregaiuri și să înlăture tot ce este veninos"...

Timp de mii de ani, pînă spre sfîrșitul secolului al XVII-lea, principala resursă energetică a fost lemnul. Mai erau întrebuințate energia animală și, într-o oarecare măsură, energia vîntului (navigația cu pînze, mori de vînt etc.) și energia căderilor de apă (folosite pentru producerea de lucru mecanic, mai întîi pentru irigații, apoi pentru mori, șteampuri, pive, foale pentru cuptoare de topit metale, ciocane pentru forjarea fierului, fierăstraie etc.). Romanii erau mari meșteri în folosirea căderilor de apă și în lucrări pentru alimentarea cu apă a orașelor. La început se foloseau căderile naturale, apoi s-a trecut la construirea de praguri de-a latul rîului, de baraje, lacuri de acumulare, canale de aducțiune și conducte forțate. În țara noastră, încă din epoca daco-romană, au avut o largă răspîndire instalațiile pentru folosirea energiei hidraulice. Ele s-au dezvoltat continuu pînă la

sfîrșitul secolului al XIX-lea. Românii erau foarte pricepuți la construcția morilor de apă. O realizare deosebită este „moara cu făcaie" din Gorj. O astfel de moară românească se află în stare de funcționare la Muzeul de Istoria Tehnicii din München, fiind considerată ca prototip străvechi al turbinei hidraulice moderne Pelton.

Inventarea mașinii cu aburi de către scoțianul James Watt, în anul 1769, a marcat, practic, începutul „erei mașinismului", sfîrșitul „energeticii lemnului" și începutul „energeticii cărbunelui". Dezvoltîndu-se foarte rapid și industria siderurgică și metalurgică, solicitările de cărbuni erau tot mai mari, astfel încît în 1900 ei acopereau peste 90% din consumul de energie pe plan mondial. Odată cu apariția pe scena energetică a petrolului și gazelor naturale, ponderea cărbunelui în balanța energetică a lumii a început să scadă (80% în 1929, 61,5% în 1950, 52% în 1960, 31,7% în 1973 și 31,5% în 1979), cu toate că producția sa nu a încetat să crească (2 936 milioane tone în 1970, 3 227 milioane tone în 1975 și 3 736 milioane tone în 1980). Se observă însă că în ultimii ani interesul pentru folosirea mai intensă a cărbunelui la acoperirea necesarului de energie a crescut foarte mult.

Petrolul, cunoscut de mai bine de 5 000 de ani, nu a prezentat importanță din punct de vedere energetic decît după 1857, cînd americanul Edwin Drake a forat primele puțuri de petrol pentru exploatarea pe scară industrială a acestuia. La început el nu a trezit un interes deosebit. În anul 1900 producția mondială de petrol era doar de 21 milioane tone. Dar odată cu inventarea motoarelor cu combustie internă și dezvoltarea industriei, care cerea tot mai mult combustibil și energie, solicitările de petrol în scopuri energetice au început să crească, datorită avantajelor sale față de cărbune, atît din punct de vedere al extracției și posibilităților de prelucrare, cît și din punct de vedere al utilizării. În 1937, producția mondială de petrol a atins 100 milioane tone, în 1950 peste 500 milioane tone, în 1970, 2 277 milioane tone, iar în 1980, 2 977 milioane tone. El a devenit principala resursă energetică a lumii, acoperind 15% din consumul de energie în 1929, 27% în 1950, 32% în 1960, 46,3% în 1973 și 44% în 1979. Trebuie menționat că orașul București a fost prima capitală iluminată cu petrol lampant (și al doilea oraș, primul fiind Praga, care în acea vreme nu era capitală), în anul 1857, iar rafinăria de petrol construită de Teodor

Mehedințeanu, lîngă Ploiești, a fost a treia din lume.

Gazele naturale au intrat pe scena energetică a lumii relativ tîrziu, în ciuda valorii lor energetice deosebite. În 1900 contribuția lor la acoperirea consumului energetic era doar de 1,5%, cunoscînd o dezvoltare rapidă de abia după cel de-al doilea război mondial (2,6% în 1920, 5,7% în 1940, 9,8% în 1950, 14% în 1960, 19,6% în 1973 și 21,2% în 1979). În ultimul timp însă, atît folosirea gazelor naturale, cît și folosirea petrolului în scopuri exclusiv energetice (încălzit, producerea de energie electrică) a început să fie reconsiderată, datorită atît faptului că acestea constituie materia primă a unei ramuri industriale de mare importanță, petrochimia, cît și datorită caracterului destul de limitat al rezervelor.

Energia căderilor de apă a fost printre primele forme de energie exploatate, dar ea a început să fie utilizată intensiv abia spre sfîrșitul secolului al XIX-lea, odată cu răspîndirea folosirii energiei electrice, cînd au început să fie construite primele centrale hidroelectrice. Cu toate că a cunoscut o mare dezvoltare, ea nu a ajuns să contribuie astăzi în balanța energetică mondială decît cu circa 6%.

Nu au trecut decît 65 de ani de la realizarea primei transmutații nucleare artificiale (Rutherford, în 1919), 45 de ani de la descoperirea fenomenului de fisiune a uraniului și toriului (Otto Hahn, împreună cu F. Strassmann, în 1938—1939), 42 de ani de la construirea, la Chicago, a primului reactor nuclear (Enrico Fermi și colaboratorii săi, în 1942), 30 de ani de la punerea în funcțiune, la Obninsk, a primei centrale electrice nucleare (1954) și energia nucleară a început să aibă o pondere tot mai însemnată în balanța energetică mondială (9% din necesarul de energie electrică al omenirii în 1981). Ea reprezintă însă ceva mai mult, o mare speranță pentru viitor.

Dacă secolul al XIX-lea a căpătat denumirea de „secolul aburului", secolul al XX-lea a căpătat-o pe cea de „secolul electricității", datorită faptului că energia electrică a devenit cea mai importantă formă de energie folosită în lume. Istoria electricității începe însă cu multe veacuri în urmă. Din timpuri vechi se cunoștea proprietatea chihlimbarului de a atrage, prin frecare cu un postav de lînă sau cu o blană, corpuri ușoare ca fulgi, păr etc. Fenomenul a fost cunoscut acum mai bine de 2 500 de ani de către filozoful grec Tales

din Milet (circa 624—546 î.e.n.) ; de asemenea, aceste cunoştinţe sînt reflectate şi în lucrările savanţilor greci de mai tîrziu. După aceasta fenomenul a rămas nestudiat şi nefolosit timp de peste 2 000 de ani, pînă la sfîrşitul secolului al XVI-lea, cînd William Gilbert (Anglia) a deschis o epocă de cercetări experimentale în domeniul electricităţii şi magnetismului, continuate de Galileo Galilei (Italia), Descartes (Franţa) şi Isaac Newton (Anglia). Gilbert a introdus în fizică noţiuni noi : electricitate, forţă electrică, pol magnetic. Deoarece în limba greacă chihlimbarul se numeşte *electron*, el a denumit forţa de atracţie a chihlimbarului frecat *forţă electrică*. Astfel a apărut termenul de *electricitate*.

În 1663, Otto von Guericke construieşte o maşină de producere a electricităţii statice. În secolul al XVIII-lea se realizează şi alte maşini electrostatice, cu rotire şi frecare, cu ajutorul cărora se făceau experienţe asupra unor corpuri. Trecerea electricităţii printr-un conductor a fost demonstrată experimental de către Stephen Gray, în 1729. Benjamin Franklin a inventat în 1747 paratrăsnetul.

Istoria electricităţii este plină de nume ilustre de savanţi care au făcut o serie de mari descoperiri de fenomene electrice şi au enunţat legile care le guvernează (Coulomb, Biot şi Savart, Ampère, Ohm, Kirchhoff, Lenz, Weber, Seebeck, etc.). Marele fizician englez Michael Faraday (1791—1867) a făcut o serie de descoperiri care au revoluţionat electricitatea, printre altele inducţia electromagnetică, autoinducţia, diamagnetismul şi paramagnetismul, şi a formulat legile electrolizei. James Clerk Maxwell (1831—1879) a dedus pe cale matematică existenţa undelor electromagnetice şi a elaborat teoria electromagnetică a luminii. Hertz a fost cel care a demonstrat experimental existenţa undelor electromagnetice (1887), confirmîndu-se astfel strălucitele deducţii ale lui Maxwell.

Odată cu inventarea pilei electrice de către Alessandro Volta în anul 1800, pe baza studiilor şi descoperirilor anterioare ale fizicianului şi medicului Luigi Galvani, apar şi sursele de energie electrică. Electricitatea porneşte la cucerirea tuturor sectoarelor de activitate.

Cu toate că secolul al XIX-lea este marcat de o serie întreagă de descoperiri şi invenţii privind producerea, transformarea şi utilizarea energiei electrice, pînă la sfîrşitul secolului ea nu a contat cantitativ în balanţa energetică mondială. Cantităţile consumate erau foarte mici, utilizarea sa limitîndu-se la anumite domenii. Dar fără electricitate nu ar fi fost posibil marele progres tehnic realizat în această perioadă. Se dezvoltă comunicaţiile la distanţă realizate cu ajutorul curentului electric (sistemul de telegrafie al inginerului rus Şilling-1835, telegraful manual al lui Morse-1840, tot el fiind şi inventatorul alfabetului ce-i poartă numele, teleimprimatorul lui Hughes-1855). În 1876, Bell inventează telefonul, iar în 1895 Marconi realizează prima transmisie radiotelegrafică cu un aparat propriu (brevetat în 1896). Tot în 1895, Popov inventează antena de radiorecepţie şi realizează primul aparat de recepţie. Humphry Davy este cel care în 1801 a realizat iluminatul cu arc electric. Ofiţerul rus Iablocikov a realizat în 1876 „lumînarea electrică", un sistem perfecţionat de iluminat cu arc electric, sistem utilizat în oraşele mari între 1877—1882. S-a aplicat şi în România, la iluminatul castelului Peleş. Între timp a început să se dezvolte şi iluminatul cu incandescenţă. La început Jobart (Belgia) a folosit beţişoare de cărbune (înlocuite apoi cu fire de platină) într-un gaz neutru. În 1878 Edison construieşte lampa cu filament de cărbune în vid avansat, care face ca iluminatul cu lămpi cu incandescenţă să ia un mare avînt. În 1890, Lodîghin realizează lampa cu filament de wolfram, iar în 1910 Auer (Germania) lampa cu filament de tungsten. „Lumina rece" s-a realizat pentru prima oară în 1860, folosindu-se tuburi cu descărcări în gaze rarefiate (tuburi Geissler), la început cu vapori de mercur. Cooper-Hewitt perfecţionează lampa cu vapori de mercur în 1900—1901. În 1910—1915 au fost realizate primele lămpi cu neon. Au urmat apoi lămpile cu vapori de sodiu şi alte gaze rarefiate şi lămpile fluorescente. În 1859, fizicianul francez Gaston Planté inventează acumulatorul electric.

Primele motoare electrice sînt considerate cele create de Faraday (1821), de francezul Barbouze şi de fizicianul rus Iakobi (care a construit primul motor electric cu rotaţie directă, în 1834). Cu ajutorul motorului său de 1 CP, Iakobi pune în mişcare o barcă pe Neva, la Petersburg. În 1860, profesorul italian Antonio Pacinotti inventează motorul de curent continuu cu indusul în formă de inel. El a arătat că maşina electrică cu indusul în formă de inel poate funcţiona şi ca generator, şi ca motor electric. În 1871, belgianul Gramme inventează şi construieşte primul dinam industrial.

Inginerul american de origine iugoslavă Nicola Tesla realizează primul motor de curent alternativ trifazat, pe baza descoperirii cîmpului magnetic învîrtitor (produs de curentul trifazat) de către italianul Galileo Feraris (1888). Mașinile electrice de curent alternativ au căpătat o mare dezvoltare, mai ales după 1883, ca urmare a creșterii cererilor de energie electrică produsă în centrale.

Prima centrală electrică din lume a fost construită de către Edison, în 1882, la New York.

În 1889, Dolivo-Dobrovolski inventează transformatorul trifazat, iar în 1891 se construiește prima linie trifazată de transport de energie electrică, la înaltă tensiune (15 000 V), cu o lungime de 175 km și o putere transportabilă de circa 200 kW. Cu ajutorul acesteia s-a realizat primul transport industrial de energie electrică, de la hidrocentrala Lauffen la expoziția electrotehnică de la Frankfurt pe Main. În 1893 a fost pusă în funcțiune centrala hidroelectrică Niagara, cu grupuri de 500 CP, proiectată de către Nicola Tesla.

Mașinile cu abur cu piston au fost foarte mult folosite la primele centrale electrice, în special cînd nu se dispunea de o sursă de energie hidraulică. De asemenea, au fost utilizate motoare cu explozie cu benzină și motoare care foloseau drept combustibil gazul de iluminat sau gazele naturale. Motoarele Diesel, inventate în anul 1892 de inginerul german Rudolf Diesel, au fost foarte mult întrebuințate în centralele electrice după 1900, iar în unele cazuri mai sînt întrebuințate și astăzi. Prima turbină cu abur utilizată în industrie a fost realizată de inginerul suedez de origine franceză Gustav de Laval, în anul 1883. Datorită incontestabilelor avantaje au fost din ce în ce mai mult utilizate în centralele electrice, înlocuind mașinile cu abur cu piston.

Solicitările tot mai intense de energie electrică au făcut să apară după 1903 primele turbine mari cu abur, să se construiască centrale termoelectrice și hidroelectrice cu puteri din ce în ce mai mari, să se dezvolte în ritm rapid rețelele de transport și distribuție, iar după 1950 să înceapă construirea de centrale electrice nucleare. Energia electrică a cucerit lumea. Ea acoperă astăzi aproape o treime din consumul de energie al omenirii.

Țara noastră a fost în primele rînduri, pe plan mondial, în problema folosirii noii forme de energie, electricitatea. Primia linie de telegraf cu fir de la noi din țară a fost

construită în 1852—1853, legînd orașele Timișoara și Sibiu cu Viena. În Moldova și Muntenia, primele linii au fost construite în 1854. În 1905 a fost realizat primul cablu submarin, între Constanța și Constantinopol. Primele linii telefonice s-au construit la București în 1886 (în S.U.A., în 1878). Telegrafia fără fir a fost introdusă pentru prima dată în 1905, între Constanța și vasele Serviciului Maritim Român. Prima emisiune experimentală de radiodifuziune a fost făcută în 1921 de prof. dr. Traian Lalescu (în 1920 a avut loc prima pe plan mondial), în 1928 devenind emisiune publică. În 1873 s-a realizat iluminarea electrică (temporară) a unui patinoar la Iași.

Prima centrală electrică din țara noastră a fost construită în București (pe locul actualei Biblioteci Universitare de pe Calea Victoriei) de către firma Brush din Viena și a fost pusă în funcțiune în septembrie 1882, la numai cîteva zile după punerea în funcțiune a primei centrale electrice construită de Edison la New York. Ea avea o putere de 25 kW și alimenta Palatul Republicii. Ulterior rețeaua s-a prelungit, asigurînd alimentarea Palatului Cotroceni (1883), Grădina Cișmigiu (1889) și iluminatul exterior al Teatrului Național (1889). În octombrie 1882 a fost pusă în funcțiune a doua centrală electrică din țară, la Atelierele C.F.R. din Gara de nord (București), asigurînd și iluminarea gării. Pînă la sfîrșitul anului 1882 au mai fost puse în funcțiune o centrală electrică la Caransebeș, asigurînd iluminarea cîtorva case din oraș, și primul grup al centralei de la Fabrica de hîrtie, Bușteni.

Primul iluminat electric al străzilor din Europa s-a realizat la Timișoara, la 11 noiembrie 1884. Începînd din 1887 centrala va livra energie electrică și particularilor. În 1897 a fost realizată, în țara noastră, prima extracție de petrol din lume folosind energia electrică, la schela Bucea de lîngă Cîmpina. Primul tramvai electric din țară a circulat la Timișoara, în ziua de 27 iulie 1889, iar primul troleibuz la Sibiu, în 1904. În 1913 a fost electrificată calea ferată Arad—Ghioroc—Pîncota—Radna (58,4 km, pusă în funcțiune în 1906 cu automotoare), prima cale ferată din țară electrificată, cu linie de contact. Prima comună electrificată la noi a fost comuna Topleț, în anul 1893. În 1899 a avut loc prima folosire în țara noastră a energiei electrice în agricul-

tură, pentru acționarea unei mașini de treierat, lîngă Sibiu.

În 1889 au fost puse în funcțiune primele două grupuri, de cîte 180 CP, la hidrocentrala Grozăvești (București), pe rîul Dîmbovița, prima centrală hidroelectrică din țară, pentru distribuție publică în oraș. În 1902 a fost pus în funcțiune la centrala electrică Craiova un grup Diesel de 120 CP (primul grup Diesel din țară), la numai doi ani după darea în exploatare a primelor grupuri Diesel industriale din lume.

În 1908 au fost puse în funcțiune la centrala electrică Filaret (București) trei grupuri Diesel de cîte 675 CP, în 1929 un grup Diesel de 5 000 CP, iar în 1940 două grupuri Diesel de cîte 9 000 CP, care la datele respective erau cele mai mari grupuri Diesel din Europa (și probabil chiar din lume) instalate într-o centrală electrică. În 1942, la centrala termoelectrică Grozăvești a fost instalat un cazan Löffler de 170 t/h, care producea abur la 130 ata și 500°C, cei mai înalți parametri din Europa în acea vreme. În 1951 a fost pusă în funcțiune, la centrala Filaret, o turbină cu gaze de 12 MW, cea mai mare din Europa (și probabil chiar din lume) la acea dată.

Vedem deci că în țara noastră există o puternică tradiție în energetică. Încă de la sfîrșitul secolului al XIX-lea a fost introdus la București și Iași învățămîntul superior al magnetismului și electricității. Au fost create, unele încă din secolul trecut, o serie de organizații și asociații științifice de studii și cercetări pentru punerea în valoare a surselor de energie și folosirea lor rațională.

Țara noastră a participat intens și a fost prezentă din primele timpuri la manifestările tehnice și științifice pe plan internațional din domeniul energiei, electrificării și electrotehnicii. Oamenii de știință și inginerii români au adus contribuții importante la activitatea acestor organizații. România este membră fondatoare (prin Institutul de Energie) a Conferinței Mondiale a Energiei (CME), înființată în 1924. De asemenea, România a participat încă din primii ani după înființarea acestora la lucrările Comisiei Electrotehnice Internaționale (CEI), Conferinței Internaționale a Marilor Rețele Electrice (CIGRE), Conferinței Internaționale a Marilor Baraje etc.

CAPITOLUL 2

CURENTUL ELECTRIC, ACEST URIAȘ INVIZIBIL

Pilele electrice, cele mai vechi surse de energie electrică.

Cînd în anul 1800 Volta a descoperit sursa de curent electric, numită în cinstea inventatorului „pila lui Volta", a apărut de fapt primul generator de curent capabil să furnizeze în mod continuu energie electrică.

Pila lui Volta, interesantă ca principiu fizic, din cauza energiei electrice foarte mici pe care era capabilă să o furnizeze, nu a reușit să asigure răspîndirea pe scară largă a folosirii curentului electric în scopuri practice. Diverse alte modele de pile electrice, din ce în ce mai perfecționate, au fost imaginate succesiv, dar ele nu pot asigura furnizarea unor cantități mari de energie electrică.

Folosirea pilelor electrice este limitată la alimentarea unor aparate cu consumuri reduse, cînd nu se dispune de o sursă de energie electrică corespunzătoare, și în special la alimentarea unor aparate electrice și electronice portabile (lanterne electrice, aparate de radio, casetofoane, calculatoare electronice de buzunar, ceasuri electrice, jucării, aparate telefonice, aparate de laborator etc.).

Pentru a produce energie electrică trebuie însă consumată o altă formă de energie. Nici un fel de generator electric nu „creează" energie electrică, ci transformă o altă formă de energie în energie electrică. Funcționarea pilelor electrice se bazează pe transformarea energiei chimice în energie electrică.

Pentru a obține o sursă chimică de curent trebuie să introducem într-un vas în care se găsește o soluție de acid, bază sau sare, două plăci de metale diferite (una poate fi și de cărbune). Bineînțeles că acestea nu pot fi alese la întîmplare, pentru o anumită soluție folosită trebuie să avem și plăcile corespunzătoare.

Vasul cu soluție și cele două plăci reprezintă cea mai simplă sursă chimică de curent sau un *„element"*.

Elementul lui Volta era format dintr-o placă de zinc și una de cupru, introduse într-o soluție de acid sulfuric. El a căpătat denumirea de *element galvanic*, dar mai corectă ar fi denumirea de *element voltaic*.

Datorită reacțiilor chimice care se produc între plăcile metalice și soluția din vas, în funcție de metodele și soluțiile folosite, una din plăci se îmbogățește cu electroni liberi și capătă sarcină negativă, iar cealaltă capătă sarcină pozitivă. Între cele două plăci apare astfel o diferență de potențial, deci o *tensiune electrică*, care se măsoară în volți (V), cu ajutorul voltmetrelor.

Legînd printr-o sîrmă metalică placa cu sarcină negativă (polul negativ, notat cu —) de placa cu sarcină pozitivă (polul pozitiv, notat cu +), electronii foarte mobili de pe placa negativă se îndreaptă prin conductor spre placa pozitivă. În interiorul soluției se produce o deplasare a ionilor, ionii pozitivi îndreptîndu-se spre placa pozitivă, iar cei negativi spre placa negativă.

În circuitul închis format se stabilește o mișcare continuă și dirijată a sarcinilor electrice, apărînd astfel un curent electric continuu. Reacțiile chimice dau naștere în element la o tensiune electromotoare care face ca la bornele acestuia să existe continuu o diferență de potențial (tensiune), sarcinile electrice să se deplaseze în circuitul format și să se mențină curentul electric. Tensiunea electromotoare, ca și tensiunea la bornele elementului, se măsoară în volți.

Sursa de curent (generatorul), receptorii (aparatele care consumă curentul, cum ar fi becurile electrice, electromotoarele etc.), conductoarele de legătură între acestea, aparatele pentru stabilirea sau întreruperea curentului, constituie ceea ce numim circuitul curentului electric. Pentru a apare curentul electric, circuitul trebuie să fie închis. Sursa de curent funcționează în acest caz *în sarcină*. Dacă circuitul se întrerupe curentul electric dispare și aparatele receptoare nu mai funcționează, cu toate că în elementul respectiv tensiunea electromotoare există în continuare, iar la bornele acestuia tensiunea se menține. În acest caz sursa de curent funcționează *în gol*. La funcționarea în gol, tensiunea la bornele elementului este egală cu tensiunea electromotoare a acestuia. La funcționarea în sarcină, tensiunea la bornele elementului este mai mică decît la funcționarea în gol, deoarece tensiunea electromotoare trebuie să descopere în acest caz și căderea de tensiune din interiorul elementului, datorită circulației sarcinilor electrice prin soluție, între cele două plăci.

Pe porțiunea exterioară a circuitului, electronii circulă de la polul negativ (—) la polul pozitiv (+) al sursei de curent.

Sensul de circulație real (fizic) al curentului electric este deci de la polul negativ la polul pozitiv al sursei de curent.

Cînd în tehnică sau în știință se vorbește de sensul curentului electric se consideră întotdeauna sensul de la polul pozitiv la polul negativ al sursei, invers decît sensul real de circulație al electronilor.

Acesta este sensul convențional (tehnic) al curentului electric și este rezultatul dezvoltării istorice a cunoștințelor despre electricitate, el fiind stabilit cu aproximativ o sută de ani înaintea descoperirii electronilor. Sensul tehnic s-a păstrat în continuare, chiar după descoperirea electronilor, deoarece toate legile și regulile legate de sensul curentului, stabilite în cei o sută de ani, se refereau la acest sens adoptat inițial. În interiorul sursei de curent, sensul tehnic al curentului este de la polul negativ la polul pozitiv al acesteia.

Curentul electric, care parcurge circuitul în mod continuu, tot timpul în același sens, se numește *curent continuu*.

Pilele electrice sînt surse de curent continuu, tensiunea la bornele lor fiind o tensiune continuă.

În afară de sensul în care circulă, curentul electric este caracterizat și prin *intensitatea* pe care o are, măsurată prin cantitatea de electricitate care trece printr-o secțiune transversală a circuitului în timp de o secundă. Cu cît aceasta va fi mai mare, cu atît intensitatea curentului va crește.

Intensitatea curentului electric se măsoară în amperi (A), după numele fizicianului francez Ampère, cu ajutorul ampermetrelor. Cînd se spune „un curent de zece amperi" se înțelege un curent a cărui intensitate este de zece amperi [1].

Tensiunea care se poate obține de la pilele electrice este destul de redusă. Elementele uzuale au o tensiune la borne, în

[1] Pentru lămuriri suplimentare asupra curentului electric continuu a se vedea anexa A de la sfîrșitul cărții „Cîteva noțiuni despre curentul electric".

gol, de 1—2 V. Cînd este necesară o tensiune mai mare sau puteri mai mari se leagă împreună mai multe elemente și se obține astfel o baterie de elemente (pilă). De aceea, în vorbirea curentă, se obișnuiește să se spună *baterie electrică*, în loc de *pilă electrică*, chiar atunci cînd aceasta este formată dintr-un singur element și deci nu poate fi vorba de o baterie.

Într-o baterie, elementele pot fi legate în serie (polul negativ al unui element se leagă la polul pozitiv al celuilalt și așa în continuare) sau pot fi legate în paralel (polii pozitivi ai tuturor elementelor se leagă între ei, iar polii negativi se leagă de asemenea între ei).

În cazul legării în serie, la bornele bateriei se obține o tensiune egală cu suma tensiunilor tuturor elementelor, dar curentul din circuit nu poate depăși curentul suportat de un singur element, prin fiecare dintre acestea trecînd integral curent din circuitul exterior.

În cazul legării în paralel, la bornele bateriei se obține o tensiune egală cu tensiunea unui singur element, dar curentul din circuitul exterior poate fi de atîtea ori mai mare decît curentul suportat de un singur element, cîte elemente are bateria.

Se mai poate realiza și legarea mixtă a elementelor, dacă se formează grupe de elemente, egale ca număr, legate în serie, iar grupele între ele se leagă în paralel, sau invers.

Pentru a fi ușor de manevrat s-au construit pile electrice cu elemente uscate, în care soluția folosită se impregnează într-o substanță care o absoarbe puternic și menține umezeala. Este cazul pilelor folosite mai ales pentru alimentarea lanternelor, aparatelor de radio, jucăriilor etc.

Pila electrică furnizează curent atît timp cît se produce procesul chimic care îi dă naștere. După consumarea substanțelor active din elemente (transformarea lor în alți compuși chimici și diluarea soluțiilor) pila încetează să mai funcționeze și trebuie schimbată. Chiar dacă nu este întrebuințată, o pilă electrică se consumă cu timpul, din cauza apariției unor curenți parazitari și epuizării substanțelor active. În ultimul timp au fost construite pile electrice cu un volum foarte redus și o durată mare de funcționare (de ordinul anilor),

în special pentru alimentarea aparatelor electronice mici, cu consumuri reduse.

Se construiesc și pile la care substanțele care reacționează se introduc din afară și se reînnoiesc pe măsură ce se consumă, atunci cînd pila debitează, iar electrozii rămîn nealterați, neluînd parte la reacție, pe care o catalizează însă, mărindu-i viteza. Acestea sînt așa numitele *pile de combustie*. Ele sînt alimentate neîncetat cu combustibil și cu oxidant și au o durată de funcționare mult mai mare decît pilele obișnuite. Combustibilul introdus este oxidat și o parte însemnată din energia rezultată este obținută direct sub formă de energie electrică. Costul acesteia este însă destul de ridicat, cu toate că randamentul pilelor de combustie este foarte bun.

Sînt și pile în care energia electrică se obține prin conversia directă a căldurii, numite *pile termoelectrice*. Dacă într-un lanț închis, constituit din două metale diferite sudate cap la cap, cele două suduri se găsesc la temperaturi diferite, apare o tensiune electromotoare și deci și un curent electric (efectul Seebeck). Folosindu-se lanțuri constituite din metale și semiconductori, efectul este mai puternic și se obțin tensiuni și puteri mai mari. Sursa de căldură poate fi realizată prin arderea unui combustibil sau cu ajutorul radioizotopilor (spre exemplu, stronțiu 90). Puterile care se pot obține de la astfel de pile sînt destul de mici, iar randamentul lor este scăzut. Ele pot funcționa însă timp îndelungat, fără intervenția omului, și prezintă interes în special pentru alimentarea unor instalații cu puteri mici, aflate în locuri greu accesibile (spre exemplu, radiorelee, radiofaruri).

Celulele sau pilele fotoelectrice (*fotovoltaice*), bazate pe proprietățile semiconductorilor, produc energie electrică prin conversia directă a energiei solare (energiei luminoase) în electricitate. Randamentul lor este însă destul de scăzut, iar costul este încă foarte ridicat.

Poate fi depozitată energia electrică ?

O altă sursă chimică de energie electrică o constituie *acumulatoarele electrice*. Spre deosebire de elementele gal-

vanice, care pot furniza energie electrică fără a fi încărcate în prealabil, acumulatoarele pot furniza energie numai după ce au fost încărcate de la o sursă de curent.

Un element de acumulator este format din două plăci pe care se află substanţele active, cufundate într-un vas în care se găseşte o soluţie de acid sau bază. Pentru a fi încărcat, placa pozitivă a elementului se leagă la polul plus al sursei de curent, iar placa negativă la polul minus al acesteia. Curentul electric trecînd prin element provoacă o reacţie chimică, substanţele de pe cele două plăci îşi schimbă compoziţia, iar soluţia din vas se concentrează.

Acumulatorul se încarcă, energia electrică primită de la sursă este transformată în energie chimică şi înmagazinată în acesta. Cînd acumulatorul este folosit pentru a livra energia electrică, ca şi la pile, se produce o reacţie chimică între plăci şi soluţia din vas, reacţie care dă naştere la tensiunea electromotoare ce întreţine curentul electric în circuit.

Pe măsură ce acumulatorul se descarcă, substanţele din plăci revin la compoziţia chimică avută înainte ca elementul să fie încărcat, iar soluţia din vas se diluează. Acumulatorul restituie energia pe care a înmagazinat-o.

Ciclul încărcare-descărcare poate fi repetat de un număr mare de ori, dar, cu timpul, şi acumulatoarele se uzează, şi trebuie înlocuite. La fel ca şi la pile, tensiunea care se obţine la bornele unui element al acumulatoarelor uzuale este destul de mică (1,2—2,2 volţi). Pentru a obţine tensiuni şi puteri mai mari se leagă mai multe elemente împreună (în serie, în paralel sau mixt), constituindu-se astfel baterii de acumulatoare. Acestea sînt întrebuinţate pentru alimentarea unor aparate portabile, a unor vehicule acţionate electric (electrocare, automobile electrice), a motoarelor submarinelor aflate în imersiune etc. De asemenea sînt întrebuinţate pentru alimentarea aparatelor de măsură şi control, a automatizărilor şi acţionărilor electrice, a circuitelor de comandă etc., care necesită o alimentare continuă, fără întreruperi, deoarece alimentarea de la reţeaua electrică se poate întrerupe în caz de avarie.

Acumulatoarele nu pot însă stoca cantităţi însemnate de energie electrică, care să servească la alimentarea consumatorilor cu puteri mari.

În centrale, energia electrică
este produsă de generatoarele electrice.

Folosirea pilelor electrice, chiar dintre cele mai perfecţionate, s-a limitat la cazuri speciale, care nu necesită energii mari.

Producerea, la tensiuni ridicate şi cu curenţi intenşi, a unor mari cantităţi de energie electrică, necesare pentru alimentarea consumatorilor, se realizează cu ajutorul generatoarelor electrice, care funcţionează după alte principii energetice decît pilele. Generatoarele electrice transformă energia mecanică în energie electrică.

Cum se întîmplă aceasta ?

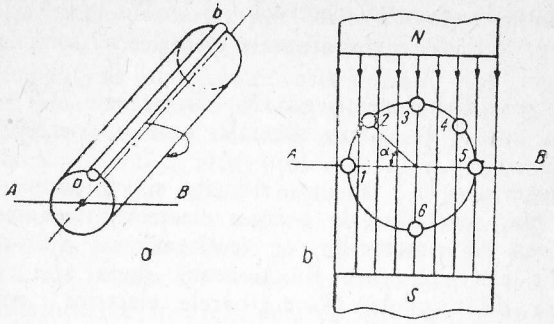
Dacă luăm un conductor metalic şi îl mişcăm în spaţiul dintre polii unui magnet permanent, astfel încît să intersecteze liniile de forţă ale cîmpului magnetic, în conductor va fi indusă o tensiune electromotoare, iar între capetele acestuia va apărea o diferenţă de potenţial. Fenomenele vor dura atît timp cît conductorul este în mişcare.

Tensiunea electromotoare indusă, deci şi diferenţa de potenţial între capetele conductorului, va fi cu atît mai mare cu cît cîmpul magnetic va fi mai intens, viteza de deplasare a conductorului mai mare şi conductorul mai lung.

Dar mărimea tensiunii electromotoare induse depinde şi de unghiul pe care îl formează direcţia de deplasare a conductorului cu liniile de forţă ale cîmpului magnetic. Astfel, dacă conductorul se deplasează perpendicular pe liniile de forţă ale cîmpului, tensiunea electromotoare va fi maximă, deoarece conductorul întretaie maximum posibil de linii de forţă. Dacă acesta se deplasează însă pe direcţia cîmpului magnetic tensiunea electromotoare va fi zero, deoarece conductorul mergînd de-a lungul liniilor de forţă ale cîmpului nu le intersectează şi nu se produce fenomenul de inducţie.

Să vedem ce se întîmplă dacă conductorul are o mişcare circulară în cîmpul magnetic, cu o viteză constantă, ca şi cum s-ar deplasa pe suprafaţa unui cilindru (fig. 2.1. a).

Cînd conductorul se află în poziţia 1 (fig. 2.1. b) unghiul α fiind zero, valoarea tensiunii electromotoare induse este zero, deoarece direcţia de deplasare a conductorului coincide cu direcţia cîmpului magnetic. El nu întretaie în acel moment nici o linie de forţă a cîmpului.



2.1. Mişcarea circulară a unui conductor în cîmpul magnetic.

Deplasîndu-se spre poziţia *3*, pe măsură ce unghiul α creşte, conductorul va întretăia din ce în ce mai multe linii de cîmp şi tensiunea electromotoare indusă va creşte. În momentul în care ajunge în poziţia *3* (unghiul $\alpha = 90°$), direcţia deplasării sale este perpendiculară pe direcţia cîmpului magnetic şi conductorul întretaie maximum de linii de cîmp, tensiunea electromotoare indusă atingînd şi ea valoarea maximă. Din acest moment, continuîndu-şi deplasarea, conductorul va întretăia din ce în ce mai puţine linii de forţă ale cîmpului magnetic şi valoarea tensiunii electromotoare induse va scădea continuu pînă cînd în poziţia *5*, la fel ca şi în poziţia *1*, va fi egală cu zero.

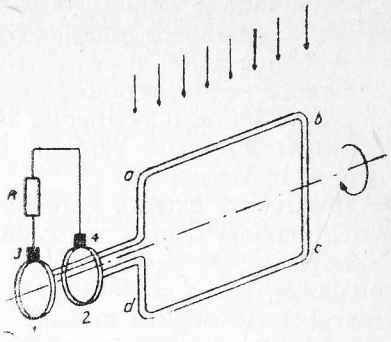
Atît timp cît conductorul se deplasează pe porţiunea de deasupra axei *AB* tensiunea electromotoare are mereu acelaşi sens şi anume este orientată de la extremitatea *a* către extremitatea *b* a conductorului.

După ce conductorul depăşeşte poziţia *5* el va întretăia liniile de forţă ale cîmpului magnetic, deplasîndu-se în sens invers decît pe prima jumătate a cercului.

Forţa electromotoare indusă îşi va schimba şi ea sensul, fiind orientată acum de la extremitatea *b* a conductorului către extremitatea *a*. În poziţia *6* va atinge din nou valoarea maximă, egală cu aceea din poziţia *3*, dar cu sensul schimbat, pentru ca ajungînd în poziţia *1* să fie din nou zero.

Să îndoim acum conductorul metalic în formă de cadru (fig. 2.2), iar extremităţile sale să le legăm la două inele

2.2. Spiră rotindu-se într-un cîmp magnetic.



de cupru 1 şi 2 pe care calcă două perii de cărbune *3* şi *4* (perii colectoare). Acestea vor fi legate la două borne exterioare.

Cadrul metalic (spira) se va roti în jurul axei sale, cu o viteză constantă, într-un cîmp magnetic uniform. Laturile *ab* şi *cd* ale cadrului vor intersecta liniile de forţă ale cîmpului magnetic şi în ele se va induce o tensiune electromotoare.

În laturile *bc* şi *ad* ale cadrului nu se va induce nici o tensiune electromotoare, deoarece acestea nu intersectează linii de forţă, rotindu-se într-un plan paralel cu direcţia cîmpului magnetic.

În latura *ab* tensiunea electromotoare indusă va avea sensul de la *a* către *b*, iar în latura *cd* de la *c* către *d*. Parcurgînd spira de la peria *3* către peria *4*, pe parcursul *3abcd 4*, tensiunile electromotoare induse în cele două laturi au acelaşi sens faţă de direcţia de parcurgere a circuitului (de la peria *3* către peria *4*) şi se adună. În momentul în care latura *ab* a cadrului trece în jumătatea de jos a cercului descris, sensul tensiunilor electromotoare induse se schimbă, în latura *ab* fiind acum de la *b* către *a*, iar în latura *cd* de la *d* către *c*.

Parcurgînd spira tot de la peria *3* către peria *4*, tensiunile electromotoare induse în cele două laturi se vor aduna, dar acum au sensul de la peria *4* către peria *3*. La borne apare o tensiune electrică al cărui sens se schimbă periodic.

Pentru o rotaţie completă a spirei, tensiunea la borne creşte de la zero la valoarea maximă, apoi scade la zero

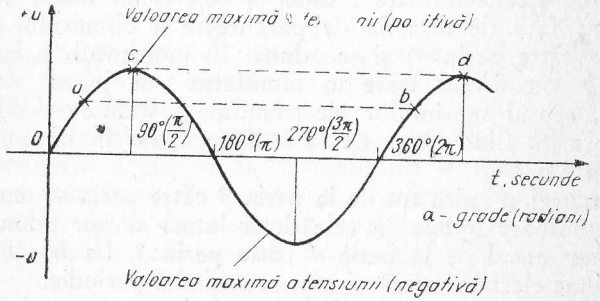
și, schimbîndu-și sensul, crește din nou pînă la valoarea maximă și apoi scade pînă la zero.

Se obține astfel o tensiune variabilă ca mărime și care își schimbă sensul periodic, numită *tensiune alternativă*. Legînd între borne o rezistență, în circuitul format va circula un *curent alternativ* care, la fel ca și tensiunea, este variabil ca mărime și sens.

În circuitul exterior curentul va crește de la zero la valoarea maximă și apoi va scădea la zero, circulînd în sensul de la peria *3* la peria *4*, după care își schimbă sensul și va circula de la peria *4* la peria *3*, crescînd de la valoarea zero pînă la valoarea maximă și apoi scăzînd la zero, după care își schimbă din nou sensul și așa în continuare.

Pentru a avea o imagine mai clară a felului cum variază tensiunea alternativă la bornele spirei să o reprezentăm grafic (fig. 2.3). Pe axa orizontală trecem valorile unghiurilor de rotație ale spirei (unghiul α), iar pe axa verticală valorile tensiunii corespunzătoare unghiurilor respective.

Dacă considerăm pozitive valorile tensiunii atunci cînd latura *ab* a spirei se află deasupra planului orizontal (unghiul α are valori cuprinse între 0 și 180°) și le trecem deasupra axei orizontale, valorile tensiunii atunci cînd latura *ab* a spirei se află sub planul orizontal (unghiul α are valori cuprinse între 180° și 360°) trebuie să le considerăm negative, avînd sensul schimbat, și să le trecem sub axa orizontală. Tensiunea obținută la bornele spirei este o tensiune sinusoidală.



2.3. Variația tensiunii alternative.

Dacă pe axa orizontală, în locul unghiului α, trecem timpul scurs pentru ca spira să se rotească cu unghiul respectiv, vom obține variația tensiunii în funcție de timp.

Curentul alternativ din circuit este de asemenea un curent sinusoidal, care variază în timp la fel ca tensiunea și se reprezintă grafic în mod asemănător.

Tensiunea alternativă și curentul alternativ își schimbă periodic sensul și valoarea. Intervalul de timp la sfîrșitul căruia mărimea alternativă (tensiunea sau curentul) se repetă ca valoare și sens se numește perioadă. Dacă privim curba din figura 2.3 vedem că valoarea și sensul pe care tensiunea le-a avut în punctul *a* se repetă în punctul *b* sau cele pe care le-a avut în punctul *c* se repetă în punctul *d*. Intervalul de timp necesar pentru aceasta este perioada tensiunii alternative, reprezentată prin curba respectivă.

Numărul de perioade ale tensiunii sau curentului alternativ într-o secundă constituie *frecvența* acestora (f).

Unitatea de măsură pentru frecvență este *hertzul* (Hz), care este egal cu o perioadă pe secundă. Un curent care circulă printr-un conductor de 50 de ori într-un sens și de 50 de ori în celălalt sens, într-o secundă, are o frecvență de 50 Hz. Într-o secundă acest curent își schimbă însă sensul de 100 de ori.

În cazul spirei care se rotește în cîmpul magnetic, după fiecare rotație a acesteia tensiunea la borne se repetă, atît ca valoare, cît și ca sens. Timpul în care spira face o rotație completă corespunde unei perioade, iar numărul de rotații ale spirei într-o secundă corespunde frecvenței tensiunii și curentului.

Curentul alternativ are în fiecare moment o altă valoare. Ce va măsura un ampermetru legat într-un circuit de curent alternativ? Acțiunea curentului nu este determinată de valoarea instantanee a acestuia. Pentru a aprecia acțiunea curentului alternativ se compară efectul termic al acestuia într-o rezistență cu efectul termic al curentului continuu. Pentru curentul alternativ se definește *valoarea eficace* (I).

Valoarea eficace a unui curent alternativ este egală cu valoarea acelui curent continuu care, trecînd prin aceeași rezistență ca și curentul alternativ, degajă aceeași cantitate de căldură (energie), în același interval de timp.

Valoarea eficace a curentului alternativ este egală cu valoarea sa maximă împărțită la $\sqrt{2}$. În mod analog se de-

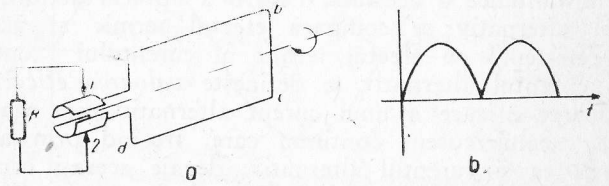
fineşte valoarea eficace a tensiunii alternative, ca fiind valoarea maximă a acesteia împărţită la 2 şi se notează cu *U*.

Ampermetrele şi voltmetrele de curent alternativ vor măsura valoarea eficace a curentului sau tensiunii. Întotdeauna cînd se vorbeşte despre valoarea curentului sau tensiunii alternative, dacă nu se precizează altfel, se înţelege valoarea eficace a acestora.

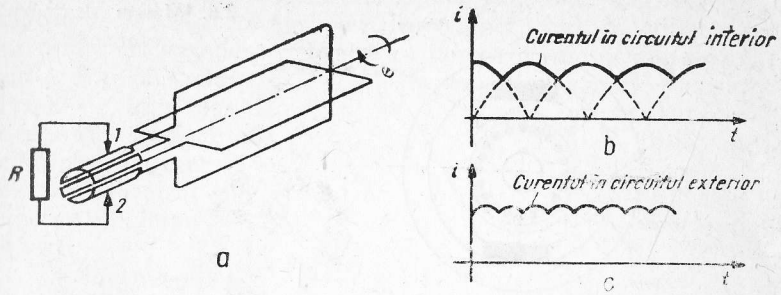
Să legăm acum extremităţile spirei nu la două inele, ci la un singur inel cilindric fragmentat în două părţi egale, distanţate între ele astfel încît cele două jumătăţi să nu se atingă. Pe fiecare jumătate de inel calcă cîte o perie care face legătura între spiră şi circuitul exterior (fig. 2.4. a).

Cît timp latura *ab* a spirei se află deasupra planului orizontal curentul în spiră va circula în sensul *abcd*, iar în circuitul exterior de la peria *2* la peria *1*. În momentul în care latura *ab* a spirei trece sub planul orizontal, iar latura *cd* deasupra acestuia, tensiunea electromotoare indusă în spiră îşi schimbă sensul, curentul în spiră va circula în sensul *dcba*, dar în circuitul exterior va circula tot de la peria *2* către peria *1*, deoarece peria *1* calcă acum pe jumătatea de inel legată la extremitatea „*d*" a spirei, iar peria *2* pe jumătatea de inel legată la extremitatea „*a*" a spirei. Astfel, în spiră circulă un curent alternativ, dar în circuitul exterior, datorită sistemului de colectare prin intermediul inelului secţionat (numit colector, deoarece cu ajutorul său se colectează curentul spre circuitul exterior) vom avea un curent care circulă tot timpul în acelaşi sens. Tensiunea la borne va avea, de asemenea, tot timpul acelaşi sens. Pe acest principiu se construiesc maşinile de curent continuu.

Generatorul de curent continuu este de fapt un generator de curent alternativ, la care curentul alternativ produs este



2.4. Spiră legată la un colector şi rotită într-un cîmp magnetic.



2.5. Mai multe spire legate la un colector.

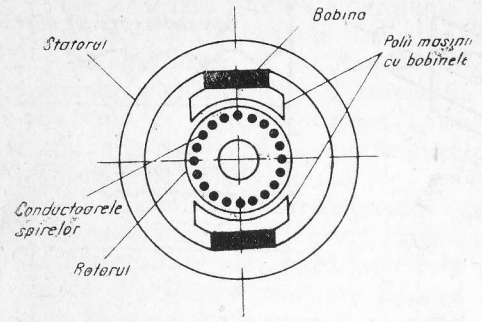
redresat în circuitul exterior în curent continuu, cu ajutorul colectorului. Dacă avem o singură spiră el pulsează puternic între valoarea zero şi valoarea maximă (fig. 2.4, b). Dacă avem două spire aşezate perpendicular una faţă de cealaltă, inelul este împărţit în patru segmente egale izolate între ele, extremităţile fiecărei spire sînt legate la două segmente opuse, iar cele două perii colectoare calcă pe segmentele (lamelele) colectorului astfel încît să culeagă mereu curentul din spira în care tensiunea electromotoare trece prin valoarea maximă, pulsaţiile curentului sînt mult diminuate (fig. 2.5, a şi 2.5. b). Mărindu-se numărul de spire, pulsaţiile curentului se vor diminua şi mai mult şi se va putea obţine astfel un curent practic continuu (fig. 2.5, c).

Tensiunea la bornele generatorului, datorită colectorului, este de asemenea o tensiune practic continuă.

Partea din maşina electrică în care se induc forţele electromotoare se numeşte *indus*, iar partea care asigură existenţa cîmpului magnetic se numeşte *inductor*.

Partea care se roteşte constituie *rotorul* maşinii, iar partea fixă *statorul* acesteia.

La maşina de curent continuu indusul este întotdeauna partea care se roteşte (rotorul), iar inductorul partea fixă (statorul). Indusul are un miez dintr-un oţel special, sub forma unui cilindru fixat pe axul maşinii. El este construit din foi de tablă (tole) suprapuse şi izolate între ele prin foi



2.6. Maşina de curent continuu.

subţiri de hîrtie sau prin lacuri izolante. La periferia cilindrului, de-a lungul acestuia, sînt prevăzute şanţuri (crestături) în care se aşază spirele (bobinajul rotorului). Conductoarele bobinajului sînt izolate atît între ele, cît şi faţă de masa rotorului.

La primele maşini electrice, inductorul era format dintr-un magnet permanent. Pe măsură însă ce erau necesare maşini electrice din ce în ce mai puternice, magneţii permanenţi nu au mai fost capabili să asigure cîmpurile magnetice intense necesare şi de aceea au fost înlocuiţi cu electromagneţi.

Inductorul maşinii de curent continuu apare astfel sub forma unor poli formaţi dintr-un miez de fier în jurul căruia se montează una sau mai multe bobine. Dacă prin acestea facem să circule un curent continuu (numit curent de excitaţie), miezul de fier din interiorul bobinei se magnetizează şi se comportă ca un magnet permanent, atît timp cît circulă curentul, dar cîmpul magnetic creat este mult mai puternic (fig. 2.6.).

Curentul de excitaţie poate fi luat de la o sursă de curent exterioară, independentă de maşina electrică respectivă, sau poate fi luat chiar de la aceasta.

Tensiunea obţinută la bornele unui generator de curent continuu depinde de curentul de excitaţie şi de turaţia rotorului acesteia. Ea va creşte atunci cînd creşte curentul de excitaţie sau turaţia rotorului şi va scădea atunci cînd acestea scad. Generatorului de curent continuu i se mai spune şi *dinam.*

Maşina de curent continuu poate funcţiona atît ca generator, cît şi ca motor electric. Atunci cînd funcţionează ca motor ea trebuie alimentată cu curent continuu de la alte surse. Într-un conductor parcurs de un curent electric şi aflat într-un cîmp magnetic apare o forţă care are tendinţa să deplaseze conductorul perpendicular pe liniile de forţă ale cîmpului magnetic. Spirele rotorului parcurse de curentul electric, furnizat de sursa de alimentare, se vor deplasa în interiorul cîmpului creat de polii maşinii şi rotorul se va învîrti.

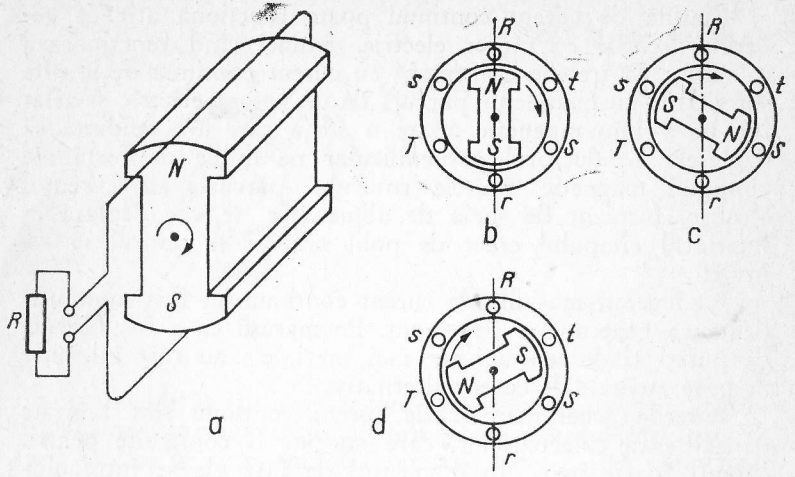
La început maşinile de curent continuu au fost mult utilizate ca generatoare de curent. Pe măsură ce a fost nevoie de puteri şi de tensiuni tot mai mari, ele au fost înlocuite de generatoarele de curent alternativ.

Puterile generatoarelor de curent continuu sînt limitate de existenţa colectoarelor, care nu pot fi construite pentru curenţi foarte mari. În momentul de faţă ele se întrebuinţează numai pentru cazuri speciale şi, de obicei, de puteri nu prea mari.

Energia electrică necesară alimentării consumatorilor este produsă la ora actuală aproape în exclusivitate cu ajutorul generatoarelor electrice de curent alternativ.

Am văzut mai înainte principiul de funcţionare al unui generator de curent alternativ care are indusul rotor şi inductorul stator. Acesta este construit la fel ca generatorul de curent continuu, dar colectorul său este format din două inele de cupru la care se leagă capetele spirelor şi pe care calcă periile (fig. 2.2). La bornele sale se obţine astfel o tensiune alternativă, iar curentul, atît în circuitul interior, cît şi în circuitul exterior, este un curent alternativ. Frecvenţa tensiunii la bornele maşinii este legată strict de numărul de rotaţii ale rotorului într-o secundă. Maşina electrică la bornele căreia tensiunea este alternativă şi a cărei viteză de rotaţie este strict legată de frecvenţa acestei tensiuni se numeşte *maşină sincronă.*

Maşini de tipul descris mai sus nu se construiesc pentru puteri şi tensiuni mari, deoarece curentul lor este limitat de sistemul de colectare (perii care alunecă pe inele, elemente în mişcare care nu asigură contacte bune pentru curenţi mari), iar tensiunea este limitată de faptul că bobinajul rotorului, care este în mişcare, nu poate avea o izolaţie corespunzătoare pentru tensiuni mari. Dimensiunile rotorului ar creşte



2.7. Obținerea tensiunii alternative monofazate și a tensiunii alternative trifazate.

foarte mult, ceea ce, la turațiile la care lucrează aceste mașini, ar crea dificultăți greu de înlăturat.

De aceea, marea majoritate a mașinilor sincrone se execută cu inductorul rotor și cu indusul stator, iar generatoarele electrice de puteri mari se construiesc în exclusivitate în acest mod. Indusul fiind partea fixă a mașinii, bobinajul acestuia se poate izola corespunzător unor tensiuni ridicate, iar curenții alternativi mari nu mai trec prin elemente în mișcare.

Pentru a obține o tensiune electromotoare indusă, într-o spiră, este indiferent dacă spira se rotește într-un cîmp magnetic fix sau aceasta este fixă și cîmpul magnetic se rotește.

Dacă avem o spiră fixă și în interiorul său se rotește un magnet, în spiră se va induce o tensiune electromotoare alternativă, iar la capetele acesteia va apărea o tensiune alternativă (fig. 2.7a).

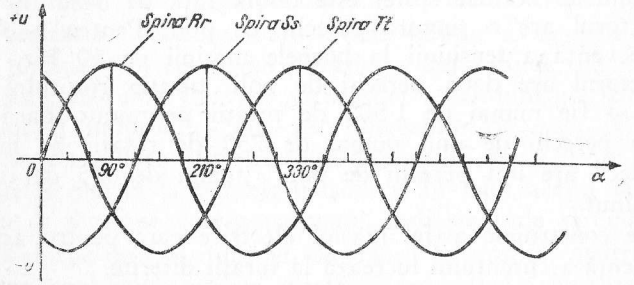
Să așezăm însă la periferia unui cilindru trei spire astfel încît planurile lor să fie deplasate între ele cu 120°. Se vede că și începuturile *R*, *S* și *T* ale spirelor sînt deplasate tot

cu 120° ; de asemenea, sfîrșiturile *r*, *s* și *t* ale spirelor sînt deplasate tot cu 120° (fig. 2.7b).

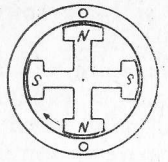
Dacă magnetul se rotește, în fiecare spiră se va induce o tensiune electromotoare alternativă, iar la capetele spirei va apărea o tensiune alternativă. Cînd polul nord al magnetului trece prin dreptul laturii superioare a spirei *Rr*, iar polul sud prin dreptul laturii inferioare a acesteia, tensiunea electromotoare indusă în spiră are valoarea maximă și sensul de la *R* la *r* (fig. 2.7b). Același lucru se va întîmpla în spira Ss după ce magnetul se rotește cu 120° (fig. 2.7c), iar în spira *Tt* după ce magnetul se rotește cu 240° (fig. 2.7d). La capetele fiecărei spire apare o tensiune alternativă. care are aceeași valoare maximă, aceeași perioadă, aceeași frecvență, la toate cele trei spire, dar variația în timp a acestora nu mai este aceeași. Tensiunea la bornele spirei *Ss* este defazată în urma tensiunii de la bornele spirei *Rr* cu o treime de perioadă (cu 120° dacă ne referim la unghiul pe care îl parcurge axa magnetului), iar tensiunea la bornele spirei Tt este defazată în urma tensiunii de la bornele spirei *Rr* cu două treimi dintr-o perioadă (240°).

Putem foarte bine să spunem și că tensiunea la bornele spirei *Rr* este defazată înaintea tensiunii de la bornele spirei *Ss* cu 120° sau că tensiunea de la bornele spirei *Rr* este defazată în urma tensiunii de la bornele spirei *Tt* cu 120° (fig. 2.8).

Dacă se închide circuitul fiecărei spire printr-un circuit exterior, curenții care iau naștere vor fi și ei defazați unul față de celălalt ca și tensiunile.



2.8. Variația tensiunilor în cele trei spire decalate cu 120°.



2.9. Rotor cu două perechi de poli

Se obţine astfel un sistem de tensiuni şi de curenţi trifazat (fiecare spiră reprezintă o fază) spre deosebire de cazul unei singure spire cînd se obţine o tensiune şi un curent monofazate. Fiecare din cele trei spire constituie o fază.

La maşinile la care rotorul este inductor, acesta este construit din doi poli de oţel în jurul cărora se află bobinele prin care circulă curentul continuu de excitaţie. Alimentarea înfăşurării (bobinelor) de excitaţie se face de la o sursă de curent continuu. Deoarece înfăşurarea de excitaţie se roteşte, legătura sa cu sursa de alimentare se face prin intermediul unui colector format din două inele pe care calcă periile. La maşinile la care inductorul are doi poli (o pereche), frecvenţa tensiunii la borne este egală cu numărul de rotaţii al rotorului într-o secundă. Pentru o maşină care funcţionează cu 3 000 de rotaţii pe minut frecvenţa este de 50 Hz.

Se construiesc însă şi maşini la care inductorul are mai multe perechi de poli. Dacă are două perechi de poli (fig. 2.9.), atunci la o rotaţie completă a inductorului prin dreptul unei laturi a spirei polul nord trece de două ori şi polul sud de două ori. Pentru aceeaşi turaţie a rotorului frecvenţa tensiunii la bornele spirei este dublă faţă de cazul în care inductorul are o singură pereche de poli. Pentru a obţine o frecvenţă a tensiunii la bornele maşinii de 50 Hz, dacă inductorul are două perechi de poli turaţia rotorului trebuie să fie numai de 1 500 de rotaţii pe minut, dacă are patru perechi de poli numai de 750 de rotaţii pe minut, iar dacă are opt perechi de poli numai de 375 de rotaţii pe minut.

Se construiesc astfel maşini electrice care pentru aceeaşi frecvenţă a curentului lucrează la turaţii diferite.

Statorul (indusul) are forma unui cilindru care la interior are prevăzute, de-a lungul său, şanţuri (crestături) în care

sînt aşezate conductoarele spirelor. Fiecare fază a maşinii nu este construită în realitate dintr-o singură spiră, ci dintr-un număr mare de spire.

Ca şi maşinile de curent continuu, maşinile electrice de curent alternativ pot funcţiona atît ca generatoare, cît şi ca motoare. La funcţionarea ca generator, rotorul maşinilor electrice trebuie rotit de către un motor cuplat cu generatorul (turbină cu aburi, turbină hidraulică, motor cu ardere internă etc.). Generatorul preia energia mecanică de la motorul de antrenare şi o transformă în energie electrică. La funcţionarea ca motor, maşina electrică trebuie alimentată de la o sursă de curent electric. Motorul preia energia electrică de la aceasta şi o transformă în energie mecanică. Rotorul său se va învîrti şi va pune în mişcare utilajele la care este cuplat.

Tensiunea obţinută la bornele generatoarelor de curent alternativ sincrone depinde de curentul de excitaţie şi de turaţie. Crescînd excitaţia generatorului (mărind curentul de excitaţie), tensiunea la bornele acestuia va creşte. De asemenea, mărind turaţia rotorului (curentul de excitaţie rămînînd constant), tensiunea va creşte.

Variaţia tensiunii la bornele generatorului datorită variaţiei turaţiei este însă mică, deoarece generatoarele sincrone funcţionează practic la turaţia pentru care au fost construite, cu abateri mici de la aceasta.

La generatoarele electrice (atît cele de curent continuu, cît şi cele de curent alternativ), ca şi la pilele electrice, atunci cînd generatorul funcţionează în sarcină, tensiunea la bornele acestuia va scădea pe măsură ce sarcina creşte.

Tensiunea electromotoare indusă trebuie să acopere acum atît tensiunea la borne, cît şi căderea de tensiune din interiorul generatorului, datorită circulaţiei curentului electric prin bobinajul indusului. Dar, spre deosebire de pile, la generatoarele electrice prin creşterea curentului de excitaţie putem creşte tensiunea la bornele maşinii şi în felul acesta să menţinem o tensiune corespunzătoare, indiferent de sarcină.

Valorile puterii, turaţiei, tensiunii, curentului, pentru care a fost construită maşina electrică respectivă, constituie valorile *nominale* (tensiunea nominală, curentul nominal, turaţia nominală etc.).

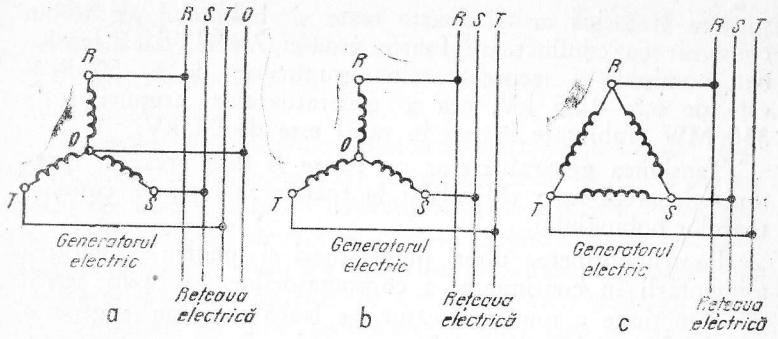
În afara mașinilor electrice sincrone se construiește și un alt tip de mașini de curent alternativ, care nu mai au nevoie, pentru crearea cîmpului magnetic al rotorului, de curent de excitație de la o sursă de curent continuu și la care turația rotorului nu mai este riguros legată de frecvența curentului (mașini electrice asincrone). La o mașină sincronă, turația rotorului este strict legată de frecvența curentului. Cît timp aceasta rămîne constantă, turația mașinii rămîne și ea constantă, indiferent de sarcină. La mașinile asincrone, turația rotorului nu mai este legată riguros de frecvența curentului, ci depinde și de sarcina mașinii. Astfel, la motoarele asincrone turația scade pe măsură ce sarcina crește. Cu toate că pot funcționa și ca generator, mașinile asincrone se folosesc aproape în exclusivitate ca motoare electrice. Folosirea lor ca generatoare este limitată numai la cazuri speciale și pentru puteri mici.

Generatoarele cu care sînt echipate centralele electrice sînt generatoare sincrone trifazate. Generatoare monofazate nu se folosesc decît în cazuri speciale și pentru puteri mici.

Motoarele electrice de puteri mari se construiesc trifazate. Se construiesc însă și motoare monofazate, pentru a putea fi folosite în cazurile în care nu se dispune de o sursă de alimenare (o rețea) trifazată, dar numai de puteri mici sau cu destinație specială. Motorașele de curent alternativ, de puteri foarte mici, se construiesc monofazate.

Cele trei faze ale unei mașini de curent alternativ trifazate nu funcționează separat, ci sînt legate între ele. Dacă se leagă împreună sfîrșiturile bobinelor celor trei faze (r, s, t) ale unui generator trifazat, iar capetele bobinelor (R, S, T) se leagă la bornele generatorului, se obține o conexiune în stea a celor trei faze ale acestuia (fig. 2.10 a și b). Punctul unde se întîlnesc capetele bobinelor legate împreună constituie punctul neutru (nulul generatorului).

Legînd însă sfîrșitul bobinei fazei *Rr* la începutul bobinei fazei *Ss*, sfîrșitul bobinei fazei *Ss* la începutul bobinei fazei *Tt* și sfîrșitul bobinei fazei *Tt* la începutul bobinei fazei *Rr*, se obține o conexiune în triunghi a fazelor generatorului (fig. 2.10 c).



2.10. Legarea în stea și în triunghi a fazelor mașinilor electrice trifazate.

Fazele motoarelor electrice se leagă de asemenea între ele în conexiunea stea sau triunghi, la fel ca la generatoare.

Tensiunea măsurată între conductorul unei faze a rețelei electrice trifazate (conductor de fază sau conductor de linie, legat la una din fazele generatorului sau transformatorului trifazat) și conductorul neutru (conductor de nul, legat la nulul generatorului sau transformatorului) este *tensiunea pe fază* (*Uf*), iar tensiunea măsurată între două conductoare de linie (între conductorul unei faze și conductorul altei faze a rețelei) este *tensiunea între faze* sau *tensiunea de linie* (*Ul*).

În rețelele de curent alternativ trifazat tensiunea între faze este cu $\sqrt{3}$ ori mai mare decît tensiunea pe fază (tensiunea între faze este egală cu aproximativ 1,73 tensiunea pe fază). Cînd ne referim la tensiunea într-un sistem de curenți trifazați se înțelege tensiunea între faze (care se notează simplu cu *U*), dacă nu se specifică în mod expres că este vorba de tensiunea pe fază (care se notează cu *Uf*).[1]

Crescînd puterea generatoarelor sincrone a crescut și tensiunea lor nominală. La un generator de putere mare care ar avea o tensiune nominală mică, curentul prin înfă-

[1] Pentru lămuriri suplimentare asupra curentului alternativ a se vedea anexa A de la sfîrșitul cărții: „Cîteva noțiuni despre curentul electric".

şurarea statorică ar fi foarte mare şi bobinajul ar trebui construit cu conductoare foarte groase. Astfel, dacă tensiunea nominală a generatoarelor grupurilor de 5—50 MW este de 6,3—10,5 kV, cea a generatoarelor grupurilor de 330 MW (fabricate la noi în ţară) este de 24 kV.

Tensiunea generatoarelor nu poate fi însă crescută prea mult deoarece apar dificultăţi la realizarea izolaţiei conductoarelor bobinajului.

Pentru obţinerea unor puteri mari şi pentru asigurarea alimentării în continuare a consumatorilor în cazul ieşirii din funcţiune a unui generator, se leagă mai multe generatoare în paralel. În cazul generatoarelor de curent continuu, pentru a lega în paralel două generatoare este suficient să se aibă grije ca bornele (+) ale acestora să fie legate între ele şi bornele (—) între ele, iar tensiunea la bornele lor să fie egală. La generatoarele de curent alternativ lucrurile sînt mult mai complicate. Pentru a lega în paralel un generator cu alte generatoare aflate în funcţiune (cu reţeaua electrică la care sînt legate acestea) trebuie ca frecvenţa tensiunii la bornele generatorului care se leagă să fie egală cu frecvenţa tensiunii reţelei, tensiunea la bornele sale să fie egală cu tensiunea reţelei, iar tensiunile pe fazele corespondente ale generatorului şi reţelei să fie în fază. Generatorul trebuie să fie în sincronism cu reţeaua (cu celelalte generatoare legate la aceasta). Realizarea acestor condiţii constituie operaţia de sincronizare a generatorului cu reţeaua.

Cum sînt alimentate receptoarele de energie electrică ?

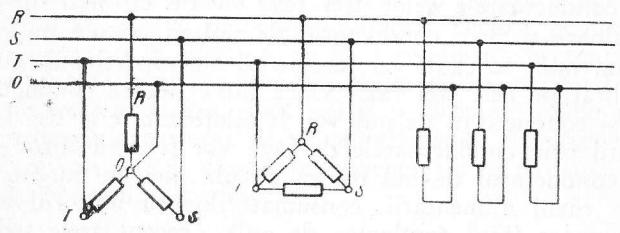
Dacă în cazul curentului continuu sau al curentului alternativ monofazat lucrurile sînt simple, alimentarea receptoarelor făcîndu-se cu ajutorul a două conductoare, în cazul curentului alternativ trifazat lucrurile sînt ceva mai complicate.

Alimentarea receptoarelor (consumatorilor) cu curent trifazat se poate face cu ajutorul a patru conductoare sau numai a trei conductoare.

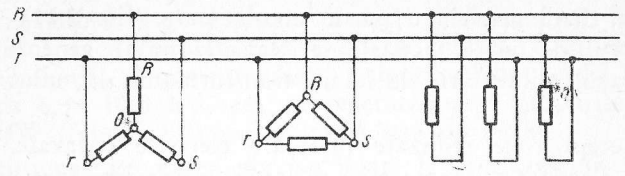
În cazul reţelei cu patru conductoare (fig. 2.11), conductorul de nul al acesteia se leagă la nulul generatorului (în cazul alimentării de la un transformator, la nulul acestuia).

Receptoarele trifazate (motoare electrice trifazate, cuptoare electrice trifazate etc.) se leagă la cele trei faze ale reţelei, iar la cele care au conexiunea în stea, nulul lor se leagă la conductorul de nul al reţelei. Receptoarele monofazate (becuri electrice, motoare electrice monofazate, aparate de radio, televizoare, aparate de uz casnic etc.) se leagă între un conductor de linie (conductorul unei faze a reţelei) şi conductorul de nul. Se observă că la receptoarele trifazate cu conexiunea în stea fiecărei faze a receptorului i se aplică tensiunea pe fază a reţelei. La receptoarele cu conexiunea în triunghi, fiecărei faze a acestuia i se aplică tensiunea de linie (tensiunea între faze a reţelei). Receptoarelor monofazate li se aplică tensiunea pe fază a reţelei.

În cazul în care receptoarele au sarcini egale pe toate fazele, atunci curenţii care circulă prin cele trei conductoare de fază sînt egali (au aceeaşi valoare eficace deci şi aceeaşi valoare maximă). Prin conductorul de nul circulă suma curenţilor din cele trei faze. Cei trei curenţi fiind egali şi defazaţi cu 120° unul faţă de celălalt, în orice moment în unul din conductoare curentul are alt sens decît curenţii din celelalte două conductoare şi o valoare egală cu suma acestora. Suma celor trei curenţi este zero şi prin conductorul de nul nu va circula nici un curent. Se poate renunţa în acest



2.11. Alimentarea receptoarelor cu ajutorul a patru conductoare ; primele două trifazate, al treilea monofazate.



2.12. Alimentarea receptoarelor cu ajutorul a trei conductoare, primele două trifazate, al treilea trifazat.

caz la conductorul de nul şi se ajunge astfel la un sistem de alimentare a consumatorilor numai cu trei conductoare (fig. 2.12).

Pentru alimentarea consumatorilor care nu au sarcini egale pe toate cele trei faze (iluminat, motoare monofazate etc.) se folosesc însă patru conductoare. Suma curenţilor din cele trei faze ale reţelei nu mai este egală cu zero şi prin conductorul de nul va circula un curent, care este cu atît mai mare cu cît sarcinile pe cele trei faze vor diferi mai mult între ele.

Astfel, dacă între conductorul fazei *R* şi conductorul de nul se alimentează cinci becuri electrice, iar între conductoarele fazelor *S* şi *T* şi conductorul de nul se alimentează numai cîte două becuri (toate fiind de aceeaşi putere), prin conductorul de nul va circula un curent, în cazul acesta egal cu suma curenţilor care circulă prin trei becuri. Reţeaua este încărcată nesimetric (neechilibrat) pe faze, curenţii prin conductoarele celor trei faze nefiind egali între ei. Pentru ca reţeaua să funcţioneze în condiţii cît mai bune (curenţii prin conductoarele celor trei faze să fie cît mai apropiaţi ca valoare şi prin conductorul de nul să circule un curent cît mai mic) se caută ca sarcina să fie repartizată cît mai echilibrat pe cele trei faze. Dacă între fiecare conductor de fază şi conductorul de nul vor fi alimentate cîte trei becuri, curenţii prin conductoarele de fază vor fi egali între ei, iar prin conductorul de nul nu va circula nici un curent.

În cazul alimentării consumatorilor cu ajutorul a trei conductoare (fără conductor de nul), receptoarele trifazate se leagă la cele trei faze ale reţelei. Se pot alimenta şi receptoare monofazate, legîndu-le între două faze ale reţelei, dar

în acest caz receptorului monofazat i se aplică tensiunea de linie (tensiunea între faze a reţelei) (fig. 2.12).

Un uriaş puternic, util, dar şi periculos.

Pe bună dreptate se poate spune despre curentul electric că este un uriaş, pe care însă nu îl putem vedea. El se face simţit numai prin efectele sale. Acest uriaş pune în mişcare maşinile şi instalaţiile din fabrici şi uzine, topeşte oţelul în cuptoare, transformă anumite substanţe în altele, face să circule troleibuzele şi trenurile, luminează locuinţele şi străzile în timpul nopţii, face să funcţioneze televizoarele, aparatele de radio, frigiderele şi aspiratoarele, calculatoarele electronice şi aparatura medicală, etc. Aproape că nu există domeniu de activitate care să se poată lipsi de el în momentul de faţă.

Energia electrică este o formă foarte concentrată de energie, care poate fi transportată instantaneu la distanţe mari şi care poate fi transformată uşor şi economic în alte forme de energie (mecanică, termică, chimică etc.).

Prin cele trei conductoare ale unei linii de transport de energie electrică de 400 kV poate fi transportată energia necesară alimentării unui oraş ca Bucureşti. Pentru producerea unei asemenea puteri ar trebui să funcţioneze la plină sarcină 30 000—35 000 de motoare de puterea unui motor de autoturism mijlociu. Un singur generator electric de mare putere poate furniza energia electrică necesară pentru alimentarea unui oraş cu sute de mii de locuitori, puternic industrializat, sau pentru alimentarea unuia sau chiar a mai multor judeţe.

Dar pe cît este de muncitor şi ascultător acest uriaş dacă ne purtăm cum trebuie cu el, pe atît de periculos devine în momentul în care îi nesocotim puterea. Tocmai pentru faptul că nu poate fi văzut şi nu îşi face simţită prezenţa, este extrem de periculos. În cele mai multe cazuri, a veni în contact cu acest uriaş sau, dacă are şi o tensiune înaltă, numai a ne apropia prea mult de el, se pedepseşte cu moartea. De aceea, cei care nu îl cunosc bine trebuie să se păzească de el şi să nu se arate prea viteji.

CAPITOLUL 3

SURSELE DE ENERGIE ELECTRICĂ ALE SISTEMULUI ENERGETIC: CENTRALELE ELECTRICE

În anul 1882, cînd Edison a construit la New York prima centrală electrică din lume, capabilă să alimenteze cîteva sute de becuri, nimeni nu s-a gîndit că nu vor trece o sută de ani și se vor construi centrale atît de puternice încît una singură să poată alimenta cîteva zeci de milioane de lămpi electrice. Astăzi există centrale atît de mari încît energia electrică produsă de una singură ar putea acoperi consumul unei țări ca Danemarca, Turcia sau Grecia.

Cantitățile uriașe de energie electrică necesare alimentării consumatorilor din sistemele energetice sînt produse de către generatoarele din centralele electrice. Acestea transformă energia mecanică a motoarelor primare care le antrenează (turbine cu abur, turbine hidraulice etc.) în energie electrică. Dar pentru a obține energia mecanică necesară antrenării generatoarelor electrice este nevoie să fie consumată o altă formă de energie (termică, hidraulică, nucleară etc.). Producerea energiei electrice în centrale este de fapt un proces de transformare în energie electrică a altor forme de energie din resursele primare. Trecerea de la forma de energie din resursele primare la energia electrică se face prin intermediul unor mașini și agregate, în care energia primară este transformată în energie mecanică iar aceasta în energie electrică [1].

Centrala electrică este un complex de instalații în care are loc producerea energiei electrice sau producerea combinată de energie electrică și termică. Oricare ar fi natura resursei primare, centrala electrică are întotdeauna și o parte de instalații cu caracter mecanic.

[1] Există metode și dispozitive pentru transformarea directă a energiei primare (termică, solară etc.) în energie electrică, fără a mai trece prin energia mecanică, dar deocamdată cantitățile de energie electrică care se pot obține pe aceste căi sînt foarte mici, practic neglijabile în raport cu cerințele de consum, iar prețul de cost este ridicat.

Și acum, să pornim într-o vizită imaginară prin cîteva centrale electrice, pentru a vedea cum sînt construite și cum funcționează acestea.

Cum sînt clasificate centralele electrice?

Clasificarea uzuală pe grupe de centrale electrice este funcție de sursa primară de energie utilizată pentru producerea energiei electrice și anume:

— centrale termoelectrice, în care este utilizată energia termică eliberată prin arderea unor combustibili solizi, lichizi sau gazoși;

— centrale hidroelectrice, în care este utilizată energia potențială și cinetică a apelor;

— centrale nuclearoelectrice (atomoelectrice), în care este utilizată energia nucleară eliberată sub formă de căldură de către combustibilii nucleari;

— centrale electrice eoliene, în care este utilizată energia vîntului;

— centrale electrice solare, în care este utilizată energia solară;

— centrale electrice geotermice, în care este utilizată energia termică a vaporilor extrași din adîncul pămîntului sau a apelor termale.

După felul combustibilului utilizat, centralele termoelectrice pot fi clasificate în centrale pe cărbune, centrale pe gaze, centrale pe păcură și centrale care folosesc resurse energetice secundare (rezultate în urma unor procese tehnologice, spre exemplu gazele de furnal).

În funcție de motorul primar care antrenează generatorul electric, centralele termoelectrice pot fi clasificate în centrale cu turbine cu abur, centrale cu turbine cu gaze și centrale cu motoare cu ardere internă (de obicei cu motoare Diesel).

Centralele termoelectrice cu turbine cu abur pot fi clasificate în centrale care produc numai energie elctrică (cărora li se spune simplu centrale termoelectrice, pe scurt CTE) și centrale care produc atît energie electrică cît și energie termică (cărora li se spune centrale electrice de termoficare, pe scurt CET).

Centralele hidroelectrice (CHE), se pot clasifica în centrale cu lacuri de acumulare, puterea produsă de acestea putînd

fi reglată funcție de necesități, și centrale fără lac de acumulare, denumite centrale pe firul apei, care funcționează continuu, puterea produsă de centrală depinzînd de debitul de apă al rîului respectiv.

După mărimea puterii instalate, clasificările centralelor electrice sînt foarte variate, admițîndu-se în general următoarea clasificare :

— centrale mari, cu o putere de peste 100 MW ;
— centrale mijlocii, cu o putere de 50—100 MW ;
— centrale mici, cu o putere de 5—50 MW ;
— microcentrale, cu o putere sub 5 MW.

Mai sînt și alte criterii după care se clasifică centralele electrice, cum ar fi schema termică la centralele termoelectrice, diferența de nivel între cota apei în lacul de acumulare și cota la care sînt montate turbinele hidraulice (căderea apei) la centralele hidroelectrice etc.

Centralele termoelectrice, baza producției de energie electrică.

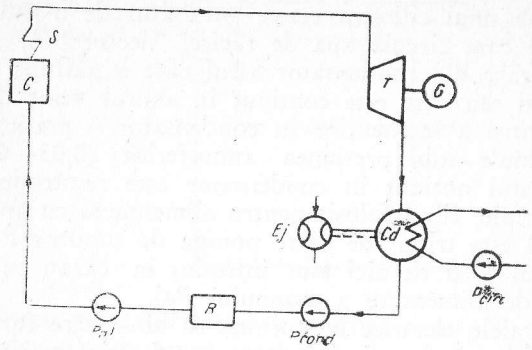
Centralele termoelectrice au fost, sînt și vor fi încă mult timp principala sursă de energie electrică a marii majorități a sistemelor energetice de pe întreg globul. Punerea în valoare a importantelor resurse de combustibili solizi, lichizi și gazoși de pe glob a dus la o impetuoasă dezvoltare a termocentralelor.

Necesitatea de a se realiza centrale termoelectrice cît mai puternice și cu performanțe tehnico-economice superioare a condus la continua îmbunătățire și perfecționare a agregatelor și instalațiilor care compun centralele, precum și a ciclurilor termice și schemelor de funcționare ale acestora.

În stadiul actual, centralele termoelectrice produc peste 70% din energia electrică utilizată în întreaga lume. Dintre centralele termoelectrice, cele mai răspîndite și totodată cele mai complexe sînt centralele cu turbine cu abur. Ele produc cea mai mare parte a energiei electrice utilizate pe glob.

Centralele electrice cu turbine cu abur

Într-o centrală cu turbine cu abur, energia termică rezultată din arderea combustibilului este transmisă unui fluid



3.1. Schema simplificată a circuitului termic al centralei cu turbină cu abur cu condensație.

de lucru apă-abur, care acționează apoi asupra unei turbine, producînd energia mecanică necesară antrenării generatorului electric.

Principiul de funcționare al unei centrale cu turbine cu abur poate fi ușor înțeles urmărind shema simplificată a circuitului închis, pe care îl parcurge fluidul de lucru apă-abur, numit *circuit termic* (fig. 3.1).

În cazanul de abur *C* apa este transformată în abur saturat datorită căldurii degajate prin arderea unui combustibil. În cazan se menține tot timpul o presiune ridicată. Aburul saturat este supraîncălzit în supraîncălzitorul *S* și apoi, cu o presiune și o temperatură ridicate, trece printr-o conductă de abur la turbina *T*. În turbină aburul se destinde de la presiunea înaltă de intrare la presiunea scăzută de ieșire (determinată de presiunea din condensatorul *Cd*). Prin destinderea sa aburul eliberează o cantitate de energie care se transformă în energie mecanică la arborele turbinei. Temperatura aburului scade și ea, de la valoarea ridicată cu care a intrat în turbină la o valoare coborîtă. După ce a produs lucru mecanic în turbină, aburul intră în condensatorul *Cd* unde se transformă din nou în apă, numită *condensat*, sau, mai scurt, *condens*. Pentru a se putea efectua condensarea aburului, este necesar ca în condensator să fie menținută o temperatură scăzută și o presiune corespunzătoare. În acest scop se folosește un circuit cu apă de răcire, în care lucrează pompa de circulație *P* circ. Condensatorul

are forma unui cilindru etanș, străbătut de o mulțime de țevi prin care circulă apa de răcire. Ejectorul *Ej* are rolul de a extrage din condensator aerul care a pătruns pe la neetanșeități sau care este conținut în aburul venit de la turbină, pentru a se menține în condensator o presiune scăzută, cu mult sub presiunea atmosferică (0,03—0,06 ata). Condensatul obținut în condensator este reintrodus în circuitul termic, fiind folosit pentru alimentarea cu apă a cazanului. El este trimis de către pompa de condens *P* cond, în rezervorul *R* și de aici este introdus în cazan cu ajutorul pompei de alimentare a cazanului *P*al.

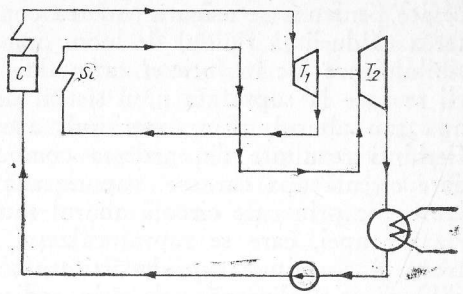
Centralele electrice cu turbine cu abur care funcționează după o schemă de principiu ca aceea descrisă mai sus se mai numesc și centrale cu condensație.

Circuitul termic descris are ca agent de lucru fluidul apă-abur. Pentru ca acest fluid să poată produce lucru mecanic, conform celui de-al doilea principiu al termodinamicii el trebuie să evolueze între două surse, una caldă și alta rece. În schema circuitului termic al centralei, sursa caldă este focarul cazanului, în care se arde combustibilul pentru a transmite fluidului o cantitate de căldură Q_1, iar sursa rece este apa de răcire, care extrage din aburul intrat în condensator o cantitate de căldură Q_2.

Cantitatea de căldură Q_2 cedată apei de răcire este foarte mare, aproape jumătate din cantitatea de căldură Q_1 la centralele foarte moderne și peste jumătate, mergînd pînă la două treimi, la celelalte. Avînd în vedere randamentele tuturor instalațiilor componente ale centralei (cazan, conducte, turbină, generator, randamentul termic al ciclului etc.) rezultă pentru întreaga centrală un randament general, care la centralele vechi se situează între 25—30%, ajungîndu-se pînă în jurul valorii de 40% și chiar mai mult la centralele moderne, cu agregate de puteri mari (care lucrează la parametri ridicați) și cicluri termice perfecționate.

Pentru a ajunge la randamente cît mai ridicate, puterea unitară a grupurilor (turbină-generator) a crescut încontinuu, ajungîndu-se în mod curent la puteri de ordinul sutelor de megawați, parametrii aburului (presiune-temperatură) la intrarea în turbină au fost încontinuu măriți, ajungîndu-se în mod curent la presiuni de 160—200 atmosfere și temperaturi de 540—560°C (la unele centrale la presiuni de 300 atmosfere și temperaturi de peste 600°C), iar instalațiile

3.2. Supraîncălzirea intermediară a aburului.



au fost mereu perfecționate. S-a acordat o atenție deosebită posibilităților de creștere a randamentului termic al ciclului, care are ponderea cea mai mare în randamentul total al centralei, ciclurile termice fiind încontinuu îmbunătățite.

Una din metode, care se întîlnește în toate centralele termoelectrice moderne, datorită faptului că ea duce la o creștere importantă a randamentului termic, este preîncălzirea regenerativă a apei de alimentare a cazanului. O parte din aburul care a lucrat parțial în turbină este preluat printr-o priză intermediară de la turbină și utilizat pentru preîncălzirea apei de alimentare a cazanului. Randamentul termic crește datorită faptului că o parte însemnată din căldura aburului, care s-ar pierde în apa de răcire, este folosită acum în mod util pentru preîncălzirea apei. Preîncălzirea apei de alimentare se face în mod succesiv în mai multe schimbătoare de căldură (numite preîncălzitoare). În fiecare preîncălzitor, aburul adus de la turbină cedează căldură apei de alimentare, se condensează și apoi este reintrodus în circuit cu ajutorul unor pompe.

O altă metodă cu eficacitate mare constă în supraîncălzirea intermediară a aburului (fig. 3.2). Aburul supraîncălzit lucrează mai întîi în primul corp al turbinei T_1 (turbina avînd în acest caz două sau mai multe corpuri), apoi este adus din nou la cazan la un supraîncălzitor *Si* (numit supraîncălzitor intermediar), de la care se întoarce și lucrează în cel de-al doilea corp al turbinei, T_2.

Cazanul de abur, un agregat foarte complex

Cazanul de abur, sau generatorul de abur cum mai este denumit, este un agregat prevăzut cu toate dispozitivele ne-

cesare pentru a se asigura arderea combustibilului și transmiterea căldurii la fluidul de lucru apă-abur. Arderea combustibilului are loc în *focarul* cazanului, iar transmiterea căldurii se face la suprafața unui sistem de țevi prin care circulă apa sau aburul, prin exteriorul acestora circulînd gazele fierbinți rezultate din arderea combustibilului. Țevile prin care circulă apa care se vaporizează sînt țevi fierbătoare, iar țevile prin care circulă aburul saturat rezultat din vaporizarea apei, care se supraîncălzește, sînt țevi supraîncălzitoare și constituie *supraîncălzitorul* cazanului. Transmiterea căldurii se realizează atît prin radiația flăcării din focar, cît și prin convecție (gazele de ardere spălînd suprafața exterioară a țevilor).

Cantitatea de căldură care se degajă în focarul cazanelor moderne este foarte mare. Temperaturile în focar ajung la valori de 1 400—1 600°C. În focarul unui cazan de abur de 1 035 tone abur/oră (cum sînt cele montate la termocentralele Turceni și Rovinari, fabricate la noi în țară), care produce aburul necesar antrenării unei turbine de 330 MW (fabricată de asemenea la noi în țară) și care arde o cantitate de 520 tone lignit pe oră (cu o putere calorifică inferioară de circa 1 550 kcal/kg) se degajă într-o oră o cantitate de căldură de circa 800 milioane kcal. Pentru a arde aceeași cantitate de lignit ar fi necesare peste 170 000 de sobe, care să consume fiecare cîte 3 kg de lignit pe oră. Într-o termocentrală cu 6 cazane de 1 035 t/h, cîte va avea în curînd termocentrala de la Turceni, cantitățile de căldură degajate în cazane, de abur produs și de cărbune consumat sînt imense.

Pentru a utiliza căldura degajată în focar cu cît mai puține pierderi termice, pe drumul parcurs de gazele fierbinți rezultate din ardere mai sînt montate, în afara supraîncălzitoarelor, și pachete de țevi care constituie suprafețe auxiliare de transmitere a căldurii. Ele sînt plasate spre sfîrșitul drumului gazelor de ardere, pentru a se recupera o parte din căldura acestora înainte de a fi evacuate în atmosferă. Unele servesc pentru o primă încălzire a apei de alimentare a cazanului (economizoarele), iar altele pentru încălzirea aerului necesar arderii combustibilului în focar (preîncălzitoarele de aer).

În acest mod, o parte însemnată din căldura conținută de gazele de ardere la ieșirea lor din focar este recuperată,

astfel încît acestea au o temperatură de numai 120—160°C la ieșirea din cazan, față de 800—1 000°C cît aveau la ieșirea din focar. Ca urmare, randamentul termic al cazanelor moderne atinge valori de 90—93%, pierderile de căldură fiind de numai 7—10%. Cazanele de construcție mai veche din centralele termoelectrice aveau în general randamente cuprinse între 70 și 80%, o importantă cantitate de căldură fiind pierdută prin gazele arse care ieșeau din cazan cu temperaturi de 200—300°C.

De cele mai multe ori cazanele au în partea superioară un *tambur* (un rezervor) în care se află apă și abur și la care sînt racordate țevile fierbătoare ale cazanului. În partea inferioară a tamburului este adusă apa de alimentare a cazanului, pentru a fi trimisă în țevile fierbătoare de unde se întoarce apoi, sub formă de abur, în partea superioară a tamburului. Aburul din tambur este trimis mai întîi la supraîncălzitor și apoi la turbină.

După felul în care se face circulația fluidului de lucru, cazanele pot fi împărțite în două categorii :

— cazane cu circulație naturală, la care circulația apei prin țevi se datorează numai diferenței de densitate dintre apa caldă și apa rece ;

— cazane cu circulație forțată, la care circulația apei prin țevi este accelerată cu ajutorul unor pompe. Din această categorie fac parte și cazanele cu trecere forțată, care nu au tambur, ci numai un sistem de țevi prin care se introduce apa și se obține aburul.

Cazanele sînt prevăzute și cu o serie de dispozitive care constituie armăturile acestuia, cum ar fi ventile de apă și de abur, supape de siguranță, manometre, sticle de nivel, robinete de purjare (pentru eliminarea apei de la partea inferioară a cazanului, unde s-au făcut depuneri), robinete de probare etc. Pentru alimentarea cu aerul necesar arderii combustibilului cazanele sînt prevăzute cu ventilatoare de aer, iar pentru evacuarea gazelor de ardere cu ventilatoare de gaze arse. De la cazane, gazele arse sînt trimise la coșul (coșurile) de fum ale centralei și evacuate în atmosferă.

Cazanele mai au și o serie de instalații anexe, cum ar fi instalația pentru evacuarea zgurii și cenușii, instalația pentru curățirea gazelor arse, instalația pentru alimentarea cu combustibil, instalația de alimentare cu apă și de preparare a acesteia.

Cazanele de abur moderne, cu debite mari, au dimensiuni impresionante. Unele ating înălțimi de peste 100 m, iar lungimea totală a țevilor ajunge la cîțiva zeci de kilometri. Spre exemplu, cazanele de abur de 1 035 t/h, de tip turn, fabricate în țară și instalate la termocentrala Rovinari, au înălțimea de 115 m, cît un bloc cu 35—40 etaje. Un astfel de cazan transformă în abur cu temperatură și presiune ridicate, în fiecare oră, 104 cisterne de apă de cîte 10 t fiecare. Coșurile de evacuare a gazelor de ardere (coșurile de fum) ale termocentralei de la Turceni au o înălțime de 280 m, fiind cele mai înalte construcții din țara noastră. Alte cazane de abur similare ca debit, la care drumul gazelor arse este în formă de π (pi), iar ventilatoarele de gaze sînt montate la 2—5 m față de sol, au înălțimi de 50—60 m, cît un bloc cu 18—20 etaje, iar coșurile de fum înălțimi de 200—260 m.

Au fost construite însă și cazane cu debite mai mari, ajungîndu-se pînă la 4 400 tone/oră.

Cazanele de abur moderne sînt prevăzute cu o serie întreagă de protecții și automatizări, unele dintre ele fiind complet automatizate.

Cît combustibil consumă o termocentrală ?

Avînd în vedere cantitățile foarte mari de combustibili necesare funcționării centralelor electrice, la centralele care folosesc combustibili solizi sau lichizi este necesară o gospodărie de combustibil, pentru depozitarea și prepararea acestuia în vederea utilizării în cazane. În cazul centralelor termoelectrice care ard cărbuni, gospodăriile de combustibil sînt foarte dezvoltate din punct de vedere al suprafețelor pe care le ocupă și a instalațiilor cu care sînt dotate.

În general, o gospodărie de cărbune este compusă dintr-o stație de descărcare a cărbunelui din vagoane, mașini cu cupe care preiau cărbunele descărcat și-l depun pe benzile transportoare care-l duc la stația de concasare, stația de concasare care reduce granulația cărbunelui, benzile transportoare care-l transportă la depozitul de cărbune concasat sau la cazane, mașini speciale care depun cărbunele în stive și mașini cu cupe care scot cărbunele din stivele depozitului și-l depun pe benzile transportoare care alimentează cazanele.

Mărimea gospodăriilor de cărbune depinde direct de puterea centralei și de calitatea cărbunelui. Astfel, o centrală

cu o putere de 2 600 MW, care arde lignit cu o putere calorifică de 1 600 kcal/kg, consumă în 24 de ore o cantitate de circa 100 000 t, pentru transportul căreia ar fi necesare 2 000 de vagoane de mare capacitate (de 50 tone), deci de 50 de trenuri formate fiecare din cîte 40 de vagoane. Cele 2 000 de vagoane puse cap la cap s-ar întinde pe o distanță de peste 28 km.

Pentru a se asigura funcționarea termocentralelor în perioadele de timp cît nu se livrează cărbune din anumite cauze (condiții meteorologice deosebite, îngheț etc), alimentarea cazanelor se face din depozite special amenajate în acest scop. Capacitatea depozitelor depinde de mai mulți factori, dar în general se are în vedere ca termocentralele să poată funcționa independent de livrări, cu cărbune numai din depozite, timp de 15—30 zile.

În aceste condiții, depozitele de cărbune ale termocentralelor cu puteri de 1 000—2 600 MW se dimensionează astfel încît să poată înmagazina 0,5—1,5 milioane tone. Asemenea depozite ocupă suprafețe cuprinse între 10—20 hectare și chiar mai mult.

Pentru a evita transportul pe calea ferată a unor mari cantități de cărbune, fapt care necesită un mare număr de vagoane și locomotive, linii de garare, instalații de încărcare-descărcare etc., marile termocentrale pe cărbune se construiesc de obicei chiar la gura minei sau în imediata apropiere a carierelor de cărbune, transportul acestuia făcîndu-se pînă la termocentrală cu ajutorul benzilor transportoare. În țara noastră se află construite în imediata apropiere a carierelor de cărbune și a minelor termocentralele Rovinari (care primește cărbunele pe benzi transportoare) și Turceni.

În cazanele de abur cărbunele arde de obicei sub formă de praf. Prin concasare granulația acestuia a fost redusă pînă la bucăți de maximum 30 mm. Ca urmare, înainte de a fi injectat în focarul cazanului el este măcinat cu ajutorul unor mori speciale. Moara de cărbune reprezintă un agregat de mare importanță pentru funcționarea cazanelor.

Cazanul de 1 035 t/h, fabricat la noi în țară, este dotat cu 6 mori de cărbune, cu o capacitate de măcinare de 100 t/h și care consumă o putere de 1—1,4 MW. Pentru un cazan este necesară, în total, o putere de 6—7 MW numai pentru măcinarea cărbunelui, putere suficientă pentru a asigura alimentarea consumului urban al unui oraș cu cîteva

zeci de mii de locuitori. O astfel de moară are o înălțime de peste 5 m și o lungime de circa 7 m, fiind un agregat destul de complex, cu un număr mare de sisteme de automatizare și control al funcționării. Ieșirea din funcțiune a unei mori atrage după sine o reducere a puterii produse de grupul respectiv cu 50—60 MW. Din această cauză se prevăd și mori de rezervă (spre exemplu, la un cazan prevăzut cu 6 mori, 5 dintre acestea pot asigura alimentarea cu cărbune a cazanului la plină sarcină).

Prin arderea cărbunelui în focar rezultă gaze de ardere și cenușă (materii anorganice care nu ard). Cenușa este antrenată de gazele de ardere pe drumul acestora către aspirația ventilatoarelor de gaze. Înainte de a intra în aspirația ventilatoarelor, gazele arse sînt trecute prin electrofiltre, care reține cenușa în proporție de 97—99%. La coșul de fum al centralei sînt refulate gaze arse care conțin o cantitate redusă de cenușă. Dacă nu ar exista electrofiltrele, pe coșul centralei ar ieși nori groși de cenușă, iar ventilatoarele de gaze arse ar fi deteriorate rapid.

Cenușa reținută de electrofiltre este apoi evacuată fie sub formă uscată, fie sub formă umedă, fiind transportată de un curent de apă care circulă prin niște canale special amenajate.

O altă parte din cenușă este evacuată din focar prin partea inferioară a acestuia, în general sub formă de zgură (cenușă aglomerată ajunsă pînă la temperatura de înmuiere și topire a materiilor anorganice). Zgura sub formă incandescentă cade de obicei într-o baie de apă, prin răcire devenind friabilă (sfărîmîndu-se), după care este luată de un sistem transportor cu bandă și trecută printr-un concasor de zgură. Amestecul de apă cu zgură și cenușă este apoi aspirat de niște pompe speciale care-l refulează pe conducte către depozitul de zgură și cenușă, situat în general în apropierea centralei (la distanțe de cîteva sute de metri). În cazurile în care nu s-a găsit în apropierea centralei un loc corespunzător pentru depozit, acesta a fost amplasat la distanțe care ajung la 1—2 km și chiar mai mult. De multe ori s-a renunțat la alegerea unui amplasament pentru o centrală pe cărbune din cauza lipsei unui spațiu corespunzător care să asigure depozitarea timp de 20—30 de ani a zgurii și cenușii.

Dar cîtă zgură și cenușă se evacuează într-un an dintr-o termocentrală care arde lignit ?

Să luăm ca exemplu termocentrala de la Turceni, care în curînd va avea o putere de 1980 MW și va consuma anual circa 25 milioane tone de lignit. Cenușa rezultată în urma arderii lignitului reprezintă între 20 și 25% din cantitatea de cărbune consumată. Cantitatea de zgură și cenușă care trebuie depozitată anual este de 3—4 milioane tone.

Pentru a asigura depozitarea acestor cantități sînt necesare zeci de hectare de teren, alegîndu-se de regulă în acest scop văi fără utilizare, albii de rîuri secate sau alte terenuri care nu sînt folosibile pentru agricultură.

Deoarece cenușa depusă devine prin uscare zburătoare chiar la vînturi de tărie redusă, în depozite se execută lucrări de fixare a acesteia prin plantări de pomi sau ierburi care pot crește în astfel de condiții. În caz contrar, terenurile din apropierea acestor depozite devin nefolosibile, zona devenind un mic deșert.

Din cele prezentate se poate desprinde faptul că funcționarea termocentralelor pe cărbune depinde într-un înalt grad de buna funcționare a întregului circuit de combustibil, de la mină la cazanul de abur și în continuare a circuitului de evacuare a zgurii și cenușii. Sînt cazuri în care imposibilitatea evacuării zgurii și cenușii atrage după sine oprirea unor agregate sau chiar a întregii termocentrale.

Situațiile cele mai grele în alimentarea cu cărbune a cazanelor de abur se întîlnesc în perioadele de iarnă și de ploi abundente. Astfel, înghețarea cărbunelui în vagoane atrage necesitatea introducerii acestora în tunele de dezghețare, timp de 3—6 ore, sau în lipsa acestora executarea unor greoaie operații manuale de descărcare. De asemenea, înghețarea cărbunilor în depozite, care este favorizată de căderea anterioară a unor precipitații sub formă de ploaie, lapoviță sau ninsoare, precum și umezirea excesivă a acestora, îngreunează mult operațiile de scoatere a cărbunilor din stive, provoacă blocarea sistemelor de grătare în zona concasoarelor, înfundări ale unor elemente cu ajutorul cărora se realizează schimburile de direcție ale fluxului de cărbune pe benzile transportoare etc.

Din aceste cauze, puterile produse de termocentralele pe cărbune în perioadele cu fenomene meteorologice deosebite sînt de multe ori mai mici decît cele normale, afectînd în

unele cazuri destul de grav echilibrul dintre producția și consumul de energie electrică din sistemul energetic.

În cazul centralelor care folosesc combustibili lichizi (păcură), gospodăria de combustibil este mult mai restrînsă și mai simplă. Ea cuprinde în general instalații de descărcare a combustibilului din vagoanele cisternă, rezervoare pentru depozitare, instalații de încălzire a acestuia, precum și instalații de transport prin conducte (pompe, conducte etc.). La unele centrale, situate în apropierea unor rafinării de petrol sau a unor mari depozite de combustibil, păcura este pompată prin conducte direct în rezervoarele centralei.

Pentru producerea unei cantități de energie electrică de 1 kWh, într-o centrală electrică cu turbine cu abur cu condensație, avînd un randament bun, se consumă în jur de 220—240 g păcură. O centrală cu o putere de 1 000 MW, funcționînd la plină sarcină, consumă circa 220—240 t păcură pe oră (22—24 vagoane de cîte 10 t).

În cazul centralelor pe gaze, alimentarea cu combustibil este simplă. Multe dintre centralele pe gaze sînt prevăzute și cu instalații de alimentare a cazanelor cu păcură, pentru ca în cazul unor deficiențe în alimentarea cu gaze centrala să poată funcționa în continuare.

La centralele pe cărbune și în special la cele care utilizează cărbune inferior, pentru a se întreține arderea acestuia în focarul cazanului este necesară consumarea și a anumitor cantități de păcură sau gaze, care constituie suportul de ardere al cărbunelui. De aceea ele sînt prevăzute și cu instalații pentru alimentarea cazanelor cu păcură sau gaze.

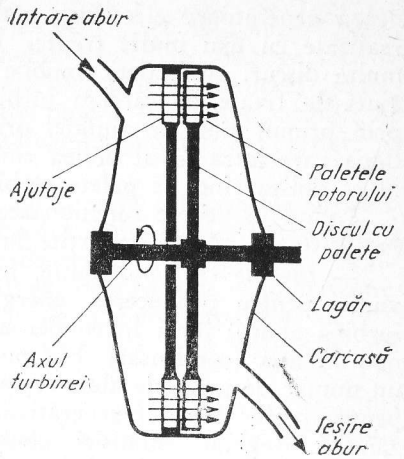
Turbinele cu abur, cele mai puternice mașini

Turbina cu abur este motorul termic în care are loc transformarea energiei potențiale a aburului în energie mecanică. O turbină simplă este compusă în principal din următoarele elemente (fig. 3.3).

— rotorul turbinei, format dintr-un ax pe care se află un disc metalic la periferia căruia sînt dispuse radial o serie de palete. Axul se rotește în două lagăre fixate la capetele sale ;

— statorul turbinei, compus dintr-o carcasă metalică care îmbracă rotorul și în care sînt fixate lagărele precum și ajutajele în care se destinde aburul venit de la cazan.

3.3. Turbină cu abur cu o singură treaptă.



Aburul cu presiune și temperatură ridicate, venit pe conducte de la cazan, pătrunde în ajutajele fixe (care au o secțiune variabilă) unde se destinde căpătînd o mare viteză. Energia sa potențială se transformă în energie cinetică. La ieșirea din ajutaje el întîlnește paletele mobile ale rotorului pe care le lovește cu putere, dezvoltînd la nivelul acestora o forță care pune în mișcare discul cu palete și axul turbinei.

După rolul îndeplinit de paletele rotorului, turbinele pot fi cu *acțiune* sau cu *reacțiune*.

În turbinele cu acțiune, aburul lucrează asupra paletelor mobile ale rotorului fără să se destindă în spațiile (canalele) dintre acestea, adică fără să cedeze din energia sa potențială. El cedează paletelor numai o parte din energia sa cinetică, micșorîndu-și viteza cu care a ieșit din ajutaje.

În turbinele cu reacțiune, aburul lucrează asupra paletelor mobile, dar în același timp se și destinde în spațiile dintre acestea. Prin destinderea aburului ia naștere o forță de reacție care acționează asupra paletelor mobile ale rotorului. Aburul cedează la nivelul paletelor mobile atît din energia sa cinetică, cît și din energia sa potențială.

Turbinele cu abur utilizate ca motoare primare pentru antrenarea generatoarelor electrice din centrale sînt de cele mai multe ori turbine combinate.

Ansamblul ajutaj-paletă rotorică formează o așa-numită treaptă de turbină. Toate turbinele de puteri mari care antre-

nează generatoare electrice, pompe, compresoare etc. sînt realizate cu mai multe trepte. Pe axul rotoru'ui sînt mai multe discuri cu palete mobile între care sînt intercalate ajutajele fixate de carcasa turbinei, aburul trecînd succesiv prin primul rînd de ajutaje, primul rînd de palete mobile, după care intră în al doilea rînd de ajutaje, din care trece în al doilea rînd de palete mobile și așa în continuare.

Avînd în vedere funcționarea turbinelor cu sau fără termoficare ele pot fi împărțite în trei categorii :

— *turbine cu condensație*, folosite în centralele electrice numai pentru producerea energiei electrice. La ieșirea din turbină aburul intră în condensator, unde se transformă din nou în apă (condensat). Ele pot avea de-a lungul carcasei un număr de prize de abur reglabile, prin care se preia abur pentru preîncălzirea regenerativă a apei de alimentare a cazanu'ui. Reglajul admisiei aburului în turbină se face în funcție de puterea electrică pe care trebuie să o debiteze generatorul antrenat de aceasta ;

— *turbine cu contrapresiune*, destinate satisfacerii în primul rînd a necesităților consumatorilor de căldură. La ieșirea din turbină aburul păstrează o presiune suficientă pentru a putea fi transportat și distribuit prin conducte la consumatorii de energie termică. Reglajul admisiei aburului în turbină se face în funcție de consumul de abur pentru termoficare ;

— *turbine cu condensație și prize reglabile de abur*. Acestea reprezintă o combinație a turbinelor cu condensație și cu contrapresiune. Aburul de diverse presiuni, necesar consumatorilor de energie termică, nu este luat de la ieșirea din turbină, ci de la prize intermediare reglabile.

După numărul de corpuri turbinele pot fi cu unul, două sau mai multe corpuri. De obicei turbinele cu puteri mari se construiesc cu trei corpuri : corpul de înaltă presiune (în care lucrează aburul de înaltă presiune, venit de la cazan), corpul de medie presiune (în care lucrează aburul de presiune medie, ieșit din corpul de înaltă presiune și supus unei supraîncălziri intermediare) și corpul de joasă presiune (în care lucrează aburul de joasă presiune, ieșit din corpul de medie presiune). La puteri foarte mari numărul de corpuri este și el mai mare. Astfel, turbina de 1 200 MW, de fabricație sovietică, are un corp de înaltă presiune, două corpuri de medie presiune și patru corpuri de joasă presiune.

Turbinele cu mai multe corpuri și cu un singur ax au dezavantajul că ajung la lungimi prea mari, ceea ce face să apară dificultăți la construcția axului și la alinierea lagărelor. Uneori turbinele de mare putere, cu multe corpuri, se construiesc cu două axe paralele (un număr de corpuri pe un ax, iar celelalte pe alt ax).

Turbinele sînt prevăzute cu o serie întreagă de dispozitive și instalații auxiliare, care asigură buna funcționare a acestora, cum ar fi ventilele de reglaj și de siguranță, regulatoarele de turație, dispozitivele de protecție, automatizare, comandă și control, circuitele de ungere, circuitele de ulei sub presiune pentru acționări, circuitele de apă de răcire a condensatorului etc.

Turbinele cu abur sînt cele mai puternice mașini capabile să funcționeze timp îndelungat. Numai motoarele cu reacție ale unor rachete cosmice pot dezvolta puteri mai mari decît cele atinse de turbinele cu abur, dar numai pentru scurt timp. Au fost construite turbine cu abur cu puteri de 1 300 MW și sînt proiecte pentru turbine de 1 500 și chiar 2 000 MW.

Turbinele cu abur de puteri mari sînt agregate a căror construcție, exploatare și întreținere presupune un grad de tehnicitate foarte ridicat. Numai țări'e cu o industrie ajunsă la un înalt nivel tehnic construiesc turbine de mare putere. De unde în trecut toate turbinele cu abur instalate în centralele noastre electrice erau de fabricație străină, astăzi producem o gamă largă de turbine cu abur, cu'minînd cu turbinele de 330 MW, agregate de o complexitate tehnică deosebită și cu un înalt grad de automatizare a funcționării. În viitorul apropiat se vor construi și turbine de 660 MW.

La centralele mai vechi sau la cele care nu au grupuri de puteri mari, cazanele debitează împreună aburul într-o conductă din care se alimentează turbinele. La ieșirea din funcțiune a unei turbine sau cazan, celelalte cazane sau turbine rămîn în funcțiune. La grupurile cu puteri mari o astfel de schemă nu mai este posibilă. Fiecare turbină are cazanul său de abur din care se alimentează, fiind legată numai de acesta (funcționare în schemă bloc). Ansamb'ul cazan-turbină — generator-transformator-ridicător constituie un bloc funcțional. Ieșirea din funcțiune a unui element al blocului determină ieșirea din funcțiune și a celorlalte elemente. De

aceea se obișnuiește să se spună, în astfel de cazuri, „blocul 3 Turceni", „blocul 4 Rovinari" etc. Uneori blocul are două cazane. La ieșirea din funcțiune a unui cazan, blocul poate funcționa în continuare cu celălalt cazan, cu o sarcină redusă la aproximativ jumătate din puterea sa maximă.

Introducerea calculatoarelor de proces pentru supravegherea funcționării, reglajul și comanda blocului energetic reprezintă ultimul pas pe calea transformării acestuia într-o unitate funcțională de exploatare, într-un „automat complet de producție a energiei electrice".

În cazurile în care generatorul este antrenat de o turbină cu abur avem de-a face cu un *turbogenerator*, iar în cazurile în care este antrenat de o turbină cu apă cu un *hidrogenerator*.

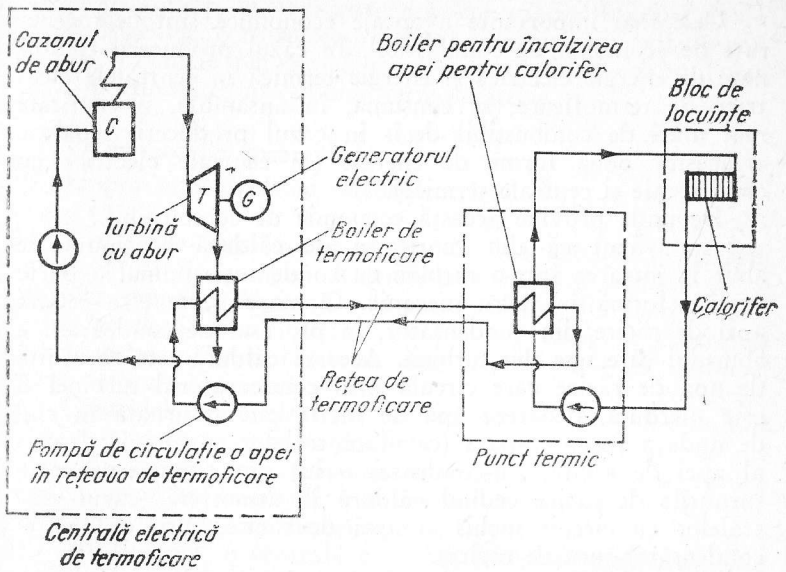
Ce este termoficarea și ce avantaje prezintă ?

Tot mai des în limbajul nostru curent este utilizat cuvîntul termoficare. Cînd se discută despre locuințe, apare aproape inevitabil întrebarea : încălzirea este asigurată de la rețeaua de termoficare, de la centrala termică de bloc sau cu sobe ?

O centrală termică produce numai energie termică (sub formă de abur sau apă caldă) fără a produce și energie electrică. O centrală electrică de termoficare (CET) produce atît energie electrică, cît și energie termică. Într-un limbaj tehnic corect, termoficarea presupune producerea combinată de energie electrică și energie termică, aceasta din urmă fiind distribuită la consumatori prin rețelele de termoficare. O locuință care primește căldură de la o centrală termică nu este încălzită prin termoficare.

În foarte multe orașe mari blocurile nou construite sînt racordate la rețeaua de termoficare. Este cazul orașelor București, Ploiești, Iași, Timișoara, Oradea, Constanța, Galați, Gheorghe Gheorghiu-Dej, Arad, Petroșani, Vulcan, Lupeni etc.

Dar alături de termoficarea urbană o mare importanță prezintă și termoficarea industrială. De aceea, multe centrale electrice de termoficare se construiesc în apropierea marilor consumatori industriali de energie termică, care sînt în același timp și mari consumatori de energie electrică.



3.4. Schema simplificată a unui sistem de termoficare urbană.

Turbinele de termoficare sînt construite pentru a putea livra abur la diferite presiuni și temperaturi, corespunzător necesităților consumatorilor de energie termică.

Astfel, pentru încălzirea apei necesare termoficării urbane (încălzirea locuințelor) aburul preluat de la turbină trebuie să aibă presiuni cuprinse în general între 1,2—2,5 ata, iar pentru procesele tehnologice industriale presiuni cuprinse într-o gamă foarte largă, de la 2—3 ata la 30—40 ata și chiar mai mult. Cu cît presiunea aburului la ieșirea din turbină este mai mare cu atît un kilogram de abur introdus în aceasta produce o cantitate mai mică de energie electrică, dar conținutul său de căldură, folosită de consumatorii de energie termică, este mai mare.

În figura 3.4. este prezentat simplificat un sistem de termoficare urbană.

Prin termoficare se obțin atît avantaje economice cît și avantaje de ordin igienic și social (reducerea poluării, curățenie, economii de spațiu, aspect estetic etc.).

Cele mai importante avantaje economice sînt cele generate de economia de combustibil. În cazul producerii combinate de energie electrică și energie termică în centralele electrice de termoficare, se consumă, în ansamblu, o cantitate mai mică de combustibil decît în cazul producerii separate a acestor două forme de energie (în centrale electrice cu condensație și centrale termice).

De unde provine această economie de combustibil ?

Am văzut că din cantitatea de căldură conținută de abur la intrarea într-o turbină cu condensație numai o parte se transformă în lucru mecanic. O mare parte este cedată apei de răcire din condensator, în procesul de condensare a aburului care iese din turbină. Această căldură este absorbită de apa de răcire care circulă prin condensatorul turbinei și este pierdută, deoarece apa de răcire este returnată în rîul de unde a fost pompată (cazul centralelor cu circuit deschis al apei de răcire, rîu-condensator-rîu) sau este trecută prin turnurile de răcire cedînd căldura în atmosferă (cazul centralelor cu circuit închis al apei de răcire, turn de răcire-condensator-turn de răcire).

Să considerăm acum situația în care aburul care iese din turbină nu mai este trimis într-un condensator, ci este introdus într-un schimbător de căldură, servind la încălzirea apei care circulă prin caloriferele unor blocuri de locuințe. În acest caz, o mare parte din căldura conținută de aburul care iese din turbină este preluată de apa care va servi la încălzirea locuințelor, deci este folosită într-un scop util.

De asemenea, aburul preluat de la turbină poate fi trimis prin conducte să participe la procesele tehnologice industriale consumatoare de căldură. După ce a cedat căldura în scopuri utile, aburul respectiv se întoarce sub formă de condensat la cazanele centralei electrice de termoficare și ciclul se reia de la început.

În cazul termoficării cu ajutorul turbinelor de abur cu contrapresiune, producția de energie electrică este dependentă de consumul de energie termică. De aceea, în multe cazuri și în special la marile centrale electrice de termoficare sînt folosite turbine cu condensație și prize reglabile de abur, caz în care producția de energie electrică este mult mai puțin dependentă de consumul de energie termică.

Extinderea termoficării urbane și industriale atrage după sine economisirea unor importante cantități de combustibil.

În același timp se consumă însă importante fonduri de investiții pentru construirea rețelelor și instalațiilor de termoficare, calculele tehnico-economice spunîndu-și cuvîntul asupra oportunității introducerii termoficărilor.

O privire de ansamblu asupra unei centrale termoelectrice

Centralele termoelectrice sînt la ora actuală principalii producători de energie electrică, atît în țara noastră cît și pe plan mondial. Mai mult de patru cincimi din energia electrică produsă anual la noi în țară este dată de centralele termoelectrice cu turbine cu abur, funcționînd cu cărbune, gaze naturale și păcură.

Centralele termoelectrice cu turbine cu abur sînt unități foarte complexe, unde se întîlnesc o mare diversitate de instalații, mașini, dispozitive și aparate, la realizarea cărora contribuie toate ramurile industriale, de la industria extractivă pînă la industria electronică.

În principiu, o centrală electrică are două compartimente principale : sala mașinilor, unde sînt montate turbinele și generatoarele, cu majoritatea anexelor acestora, și sala cazanelor, unde sînt instalate cazanele de abur. La centralele moderne, cu cazane cu debite mari, nu mai este însă vorba de o sală propriu-zisă, cazanele fiind astfel construite încît se instalează în aer liber. Ar fi și greu de altfel ca niște cazane cu o înălțime cît a unui bloc cu zeci de etaje să fie instalate într-o sală. În unele țări au fost construite centrale la care și turbinele și generatoarele sînt instalate în aer liber (fiind construite special în acest scop), în clădiri fiind amplasate numai instalațiile care nu pot funcționa în aer liber.

În afara acestora, mai întîlnim gospodăria de combustibil, care la centralele pe combustibili solizi are o mare întindere și complexitate, instalațiile pentru captarea apei din rîuri (baraje, aducțiuni, stații de pompare etc.) și pentru evacuarea apei calde, instalații pentru evacuarea și depozitarea zgurii și cenușii, stații electrice, turnuri de răcire etc.

În centralele termoelectrice vom întîlni sute și mii de conducte (de abur, apă, combustibil, ulei), mii de ventile, pompe de apă, ulei și combustibil, pompe speciale pentru evacuarea zgurii și cenușii, turbine de abur pentru antrenarea unor pompe, mii de motoare electrice cu puteri de la

cîteva mii de kilowaţi pînă la cîţiva waţi, instalaţii şi cabluri electrice pentru alimentarea acestora, instalaţii pentru răcirea cu hidrogen (în circuit închis) a generatoarelor electrice de putere mare, mii de aparate, dispozitive şi circuite de protecţie, automatizare, măsură, comandă şi control, poduri rulante, căi ferate etc. De asemenea vom întîlni zeci de ateliere şi laboratoare.

O mare importanţă pentru buna funcţionare a cazanelor şi turbinelor o au instalaţiile care prepară apa cu care vor fi alimentate cazanele. Aceasta nu trebuie să conţină impurităţi, săruri şi gaze. Deoarece în circuitul fluidului de lucru apă-abur au loc şi scăpări, la condensatul care se întoarce la cazan trebuie să se adauge în permanenţă o anumită cantitate de apă proaspătă, care să compenseze aceste pierderi.

Pentru alimentarea motoarelor electrice ale pompelor, ventilatoarelor, morilor de cărbune, benzilor transportoare etc., precum şi a celorlalţi consumatori de energie electrică din centrale, o parte din energia electrică produsă de generatoare este folosită în acest scop. Instalaţiile prin care se face alimentarea acestor consumatori constituie instalaţiile de alimentare a serviciilor interne ale centralei, cărora li se acordă o importanţă deosebită. Întreruperea alimentării serviciilor interne ale unui agregat sau ale centralei atrage ieşirea din funcţiune imediată a agregatului respectiv sau a întregii centrale. O centrală termoelectrică care este oprită nu poate fi repusă în funcţiune dacă nu are asigurată alimentarea cu energie electrică a serviciilor interne din alte surse (reţeaua electrică etc.).

Consumul serviciilor interne reprezintă în jur de 8—13% din puterea centralei în cazul centralelor pe cărbune şi în jur de 5—7% în cazul centralelor pe gaze sau păcură.

Dispozitivele de protecţie, automatizare, comandă şi control, vitale pentru funcţionarea agregatelor şi securitatea acestora, sînt alimentate din baterii de acumulatoare, astfel încît în cazul întreruperii curentului alternativ să nu rămînă nealimentate.

Comanda instalaţiilor electrice ale centralei se face din camera de comandă electrică a acesteia. Comanda instalaţiilor termice se face din camera de comandă termică. La centralele vechi nu există o cameră de comandă termică, comanda agregatelor făcîndu-se de la faţa locului. La centralele cu blocuri (cazan — turbină — generator — transformator) de puteri mari, comanda întregului bloc se face

centralizat dintr-o cameră de comandă a blocului respectiv. De multe ori se grupează cîte două blocuri într-o cameră de comandă. Restul instalaţiilor electrice din centrală sînt comandate din camera de comandă electrică a centralei.

Centralele termoelectrice cu turbine cu abur au o serie de avantaje dintre care cele mai importante sînt : pot fi proiectate pentru cei mai diferiţi combustibili, sînt potrivite pentru unităţi de orice mărime, se comportă bine la sarcini parţiale, nivelul de zgomot în funcţionare este modert, pot fi construite în intervale de timp nu prea lungi (de ordinul 1,5—3 ani) etc. Ca dezavantaje ar fi : timp lung de pornire (de ordinul orelor, uneori peste zece ore), dacă nu sînt construite special pentru o pornire rapidă, şi consum foarte mare de apă, dacă nu se face uz de răcire în circuit închis.

Înainte de a ne continua „vizita" şi prin alte feluri de centrale să amintim cîteva „recorduri" pe plan naţional din cadrul centralelor termoelectrice din ţara noastră, aflate în exploatare la mijlocul anului 1983 :

„Cea mai mare centrală pe cărbune : CTE Rovinari — 1 720 MW (4 grupuri de cîte 330 MW, 2 grupuri de cîte 200 MW)" ;

„Cea mai mare centrală pe hidrocarburi (gaze naturale şi păcură) : CTE Brăila — 960 MW (1 grup de 330 MW, 3 grupuri de cîte 210 MW)" ;

„Cea mai mare centrală electrică de termoficare : CET Bucureşti Sud — 550 MW instalaţi în turbine de termoficare (CET Işalniţa — 1 035 MW, dar în turbine de termoficare sînt instalaţi numai 205 MW)" ;

„Cele mai mari cazane de abur : 1 035 tone/oră (Turceni, Rovinari, Brăila)" ;

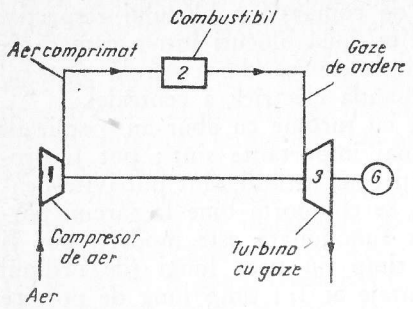
„Grupurile cu cea mai mare putere : 330 MW (Turceni, Rovinari, Brăila)" ;

„Turbina de termoficare cu cea mai mare putere : 150 MW (CET Palas — Constanţa)" ;

„Cele mai înalte coşuri de fum : 280 m (Turceni)".

Alte tipuri de centrale termoelectrice

În afară de centralele termoelectrice cu turbine cu abur există şi alte tipuri de centrale termoelectrice, care prezintă importanţă datorită faptului că ele pot să răspundă la anu-



3.5. Schema de principiu a unei instalații cu turbină cu gaze în circuit deschis.

mite cerințe speciale. Așa sînt, de exemplu, centralele cu turbine cu gaze, centralele cu motoare Diesel, centralele cu cicluri combinate și altele.

Centralele electrice cu turbine cu gaze (*CTG*), care folosesc drept fluid de lucru gazele, pot fi cu circuit deschis sau cu circuit închis. În principiu, o instalație cu turbină cu gaze în circuit deschis (fig. 3.5) este compusă dintr-un compresor *1*, dintr-o cameră de ardere *2* și o turbină cu gaze *3*.

Compresorul absoarbe aer din atmosferă și-l comprimă, după care acesta este introdus în camera de ardere împreună cu combustibilul. În camera de ardere se obține o mare cantitate de gaze de ardere, cu presiune și temperatură ridicată, care sînt trimise la turbină unde se destind și produc lucru mecanic, fiind apoi evacuate în atmosferă. O parte din energia mecanică produsă de turbină este consumată pentru antrenarea compresorului, iar restul este folosită pentru antrenarea generatorului electric.

La instalațiile cu circuit închis, fluidul de lucru poate fi aerul sau alte gaze. Aerul sau gazele comprimate de compresor sînt încălzite într-o cameră de ardere, după care sînt introduse în turbină unde se destind producînd lucru mecanic și apoi intră din nou în compresor (după o răcire prealabilă), închizînd circuitul.

Centralele cu turbine cu gaze au o serie de avantaje, cum ar fi : instalația este simplă și ocupă un spațiu redus, se comportă bine și la sarcini parțiale, pot fi construite în intervale de timp scurte (în jur de un an sau chiar mai puțin), cheltuielile de investiții sînt reduse. Instalațiile cu circuit deschis pot fi pornite foarte repede (în cîteva minute), iar

variația sarcinii (încărcarea-descărcarea) poate fi făcută foarte rapid. De aceea ele sînt indicate, în special, pentru acoperirea vîrfurilor de consum (centrale de vîrf).

Centralele cu turbine cu gaze au și o serie de dezavantaje : necesită materiale speciale la construcția turbinei (care trebuie să suporte temperaturi ridicate), necesită folosirea de combustibili superiori și sînt foarte zgomotoase în funcționare.

Au fost construite turbine cu gaze cu puteri pînă la 136 MW, dar, în general, ele se construiesc cu puteri sub 60 MW.

În momentul de față, la noi nu sînt folosite turbine cu gaze. Pînă mai acum cîțiva ani au fost în funcțiune, la termocentrala București Sud, 3 turbine cu gaze cu o putere de 36,3 MW fiecare (în total 109 MW), dar după ieșirea din funcțiune a acestora nu au mai fost instalate altele.

Centralele cu motoare Diesel (*centralele dieselelectrice*), (*CDE*), folosesc ca motor primar pentru antrenarea generatorului motoare cu ardere internă de tip Diesel. Ele au o serie de avantaje incontestabile : randamente ridicate, spații ocupate mici, timpi de pornire foarte scurți, variația sarcinii poate fi făcută rapid, dar au și mari dezavantaje : funcționează numai cu combustibili superiori, au consum mare de piese de schimb, cheltuieli de întreținere mari, puteri unitare mici (cele mai mari motoare Diesel construite nu au depășit 30 MW). Ele sînt indicate ca centrale de rezervă, centrale de vîrf și centrale în locuri izolate. În momentul de față în sistemul nostru energetic nu mai sînt folosite centrale dieselelectrice.

Centrale cu cicluri combinate (*mixte*) au rezultat din observația că dacă s-ar putea combina un ciclu termic care se desfășoară între nivele înalte de temperatură (exemplu ciclul aer-gaze), cu un ciclu care se desfășoară între nivele mai joase de temperatură (exemplu ciclul apă-abur), ciclul mixt rezultat va avea un randament mai mare decît fiecare din ciclurile componente. Instalațiile cu cicluri combinate abur-gaze sînt realizate după una din următoarele scheme de bază :

— căldura cît și excesul mare de aer al gazelor de ardere evacuate din turbina cu gaze sînt folosite în focarul unui cazan de abur care alimentează o turbină cu abur ;

— turbina cu gaze folosește gazele de ardere produse de un cazan de abur (cu ardere sub presiune în focar) care produce și aburul necesar acționării unei turbine cu abur.

Centralele hidroelectrice, al doilea mare producător de energie electrică

Din vremuri îndepărtate omul a învăţat să folosească potenţialul energetic al rîurilor şi căderilor de apă, construind mori de apă, roţi hidraulice care puneau în mişcare diferite mecanisme, etc. Hidroenergia (potenţialul energetic al căderilor de apă) a fost printre primele forme de energie exploatate. În sensul pe care îl dăm noi astăzi acestei noţiuni, hidroenergia a intrat în scenă numai după descoperirea electricităţii, care a făcut posibilă punerea în valoare a potenţialului energetic al căderilor de apă prin sistemul turbină cu apă-generator electric. S-a înlăturat o limită de netrecut înainte, făcînd ca locul de producţie al energiei să nu mai fie strict legat de locul de consum. Dar tocmai datorită acestui fapt, hidroenergia a început să conteze printre sursele de acoperire a consumului de energie numai după ce s-au pus la punct tehnicile necesare asigurării transportului energiei electrice la mari distanţe.

În stadiul actual, alături de centralele termoelectrice, centralele hidroelectrice au o contribuţie hotărîtoare la satisfacerea cerinţelor de energie electrică ale planetei. Circa o cincime din producţia mondială de energie electrică este asigurată astăzi de către hidrocentrale.

Cu toate că ţara noastră dispune de resurse hidroenergetice modeste în raport cu o serie de ţări favorizate de condiţiile naturale, totuşi circa 18% din consumul de energie electrică este acoperit de hidrocentrale.

În unele ţări, cu condiţii naturale favorabile, energia electrică produsă în hidrocentrale are o contribuţie hotărîtoare la acoperirea consumului : circa 99% în Norvegia, 92% în Brazilia, 74% în Elveţia, 71% în Canada, 64% în Suedia şi 45% în Venezuela.

Principalele 10 ţări producătoare şi consumatoare de energie din surse hidro sînt : S.U.A., Canada, U.R.S.S., Japonia, Norvegia, Brazilia, Suedia, Franţa, Italia şi R. P. Chineză.

Centralele hidroelectrice au un avantaj esenţial, în special în condiţiile de azi, în care resursele energetice trebuie drămuite cu străşnicie : folosesc energia căderilor de apă, sursă de energie practic inepuizabilă, care se reînnoieşte continuu.

Energia electrică produsă în hidrocentrale este ieftină, costurile de exploatare fiind foarte reduse în comparaţie cu cele din termocentrale (ele neavînd nevoie de combustibil). În schimb, cheltuielile de investiţii sînt foarte mari, fiind necesare amenajări hidrotehnice costisitoare (devierea cursurilor de apă, ridicarea de baraje, crearea unor lacuri de acumulare etc.). Acest lucru explică de ce gradul de valorificare a potenţialului hidroenergetic pe plan mondial este încă redus, în special în ţările slab dezvoltate, care nu dispun de mijloacele financiare reclamate de marile amenajări hidrotehnice.

Potenţialul hidroenergetic teoretic al cursurilor şi căderilor de apă de pe glob corespunde unei cantităţi anuale de energie de circa 33 000 miliarde kWh şi reprezintă din punct de vedere tehnic şi economic cea mai importantă dintre sursele inepuizabile de energie. Din cauza structurii geologice a bazinelor hidrografice şi a reliefului, care limitează posibilităţile de construcţie de baraje, lacuri de acumulare, galerii de aducţiune, centrale electrice etc., numai aproximativ 45% din acest potenţial poate fi amenajat din punct de vedere tehnic. Din punct de vedere economic, la nivelul actual, potenţialul amenajabil este însă de numai 15—22% din potenţialul total, deci s-ar putea obţine 5 000—7 500 miliarde kWh pe an. În viitor însă, s-ar putea să devină economică amenajarea unei părţi mai însemnate din potenţialul tehnic amenajabil. Actualmente producţia mondială de energie electrică din resurse hidro se situează în jurul valorii de 1 800 miliarde kWh pe an.

Potenţialul hidroenergetic teoretic al ţării noastre este de circa 70 miliarde kWh pe an, din care cel tehnic amenajabil de circa 40 miliarde kWh pe an. După terminarea lucrărilor de amenajare a tuturor cursurilor de apă — pînă în anul 2000 — se estimează că se va obţine o producţie medie anuală de energie electrică din surse hidro de circa 40 miliarde kWh. Gradul de utilizare al acestui potenţial va creşte de la circa 30% în 1980 (cînd producţia de energie hidroelectrică a fost de 12 637 milioane kWh) la 45% în 1985, 65% în 1990 şi 100% în anul 2000. Circa o treime din potenţialul de 40 miliarde kWh pe an se va obţine prin amenajarea integrală a Dunării (partea ce revine ţării noastre),

prevăzut a fi realizată pînă în 1990, iar restul de două treimi prin amenajarea rîurilor interioare. Principalele rîuri ce vor contribui la aceasta sînt Oltul cu afluenţii săi, Mureşul cu afluenţii săi, Siretul cu afluenţii săi şi Someşul.

Trebuie subliniat că, în special în cazul unei ţări cu resurse hidraulice modeste, este de cea mai mare importanţă ca la realizarea oricărei lucrări pe un rîu, sau în legătură cu aceasta, să se aibă în vedere totalitatea folosinţelor de apă, energetice şi neenergetice, ca şi toate influenţele ce apar ca urmare a executării unei lucrări, în mod deosebit impactul asupra mediului înconjurător. Cînd se vorbeşte despre totalitatea folosinţelor de apă se are în vedere producerea de energie electrică în hidrocentrale, asigurarea necesarului de apă potabilă şi industrială pentru localităţile din aval, dezvoltarea irigaţiilor şi a pisciculturii, eventualele utilizări pentru navigaţie, atenuarea viiturilor şi prevenirea inundaţiilor, dezvoltarea turismului etc.

Pentru utilizarea energiei unui curs de apă este necesară o amenajare corespunzătoare, prin care să se creeze o cădere de apă, adică să se formeze o diferenţă de nivel a apei. Prin căderea apei de la punctul superior (amonte) la punctul inferior (aval), energia sa potenţială şi cinetică este transformată în energie mecanică în turbinele hidraulice.

Energia unei căderi de apă este direct proporţională cu debitul (cantitatea de apă care curge într-o secundă) şi căderea (diferenţa de nivel între suprafaţa apei în lacul de acumulare — cota apei în lac — şi punctul unde este instalată turbina — cota la care se află turbina). Prin amenajările ce se realizează în vederea utilizării potenţialului hidroenergetic dintr-o anumită zonă se caută să se acţioneze tocmai asupra acestor elemente esenţiale, bineînţeles în condiţii economice cît mai avantajoase. Se ridică însă o întrebare : se poate oare acţiona asupra debitului utilizat şi asupra căderii, folosite la o centrală hidroelectrică ?

Deşi la prima vedere s-ar părea că răspunsul este negativ, se va vedea în cele ce urmează că la alegerea schemelor de amenajări hidroenergetice se urmăreşte să se ajungă la concentrarea debitelor şi căderilor, pentru realizarea unor centrale cu puteri cît mai mari.

Debitele afluente într-o secţiune dată de rîu au în cursul anului o variaţie sezonieră şi diferă mult de la un an la altul, proporţional cu cantitatea de precipitaţii căzută, cu gradul de umiditate din sol etc. Pentru majoritatea rîurilor din ţara noastră, circa 55—65% din cantitatea anuală de apă se scurge în aproximativ patru luni (aprilie-iulie), în timp ce în patru luni de iarnă (decembrie-martie sau noiembrie-februarie) cantitatea de apă scade la numai 15—20% din totalul anual.

Dacă ne referim numai la cele două luni consecutive din an cu debitele cele mai mari şi respectiv cele mai mici (în general lunile mai-iunie şi respectiv ianuarie-februarie), raportul cantităţilor de apă ce se scurg — în procente din cantitatea anuală de apă — este de 33—37% şi respectiv 7—10%. Valorile de mai sus reprezintă mediile pentru o perioadă de 30—50 de ani, pentru care există măsurători. Pentru perioade de cîţiva ani, disproporţia dintre debitele din perioadele cu ape mari şi cele din perioadele cu ape mici este şi mai mare.

Dacă trecem de la valorile medii lunare la valorile zilnice, variaţiile ce se întîlnesc pe toate rîurile din ţara noastră sînt mult mai mari. Astfel, rîul Bistriţa, al cărui debit mediu multianual în zona în care a fost realizat marele baraj de la Izvorul Muntelui—Bicaz este de circa 50 m^3/s, are debite medii zilnice ce variază de la 5—10 m^3/s în perioadele cele mai geroase pînă la 600—1 000 m^3/s în perioada debitelor mari de primăvară, putînd ajunge în cazul unor debite catastrofale la peste 2 000 m^3/s. Raportul dintre debitele maxime şi debitele minime, care în cazul de mai sus este de circa 400/1, scade la circa 15/1 pentru Dunăre, unde s-au înregistrat debite medii zilnice de la 1 300 pînă la 20 000 m^3/s, faţă de un debit mediu multianual de 5 500 m^3/s, la intrarea pe teritoriul ţării noastre.

Explicaţia debitelor mai uniforme pe Dunăre este dată de faptul că aceasta are un bazin foarte mare (580 000 km^2, pînă la Baziaş), cu afluenţi din zone cu caracteristici hidrometeorologice diferite. Pînă în punctul de amplasare al barajului de la Bicaz, rîul Bistriţa colectează apele de pe o suprafaţă de numai 4 000 km^2, mai mică de 145 de ori decît în cazul Dunării. Cu cît suprafaţa bazinului rîului res-

pectiv este mai mică, cu atît pot apărea neuniformităţi mai mari de debite între o zi şi alta.

Constatînd marea varietate a debitelor afluente, este uşor de înţeles că pentru a folosi întreaga cantitate de apă într-o hidrocentrală este necesar fie să se creeze instalaţii care să poată utiliza toate debitele, ceea ce este evident neeconomic în marea majoritate a cazurilor, fie să se asigure redistribuirea debitelor naturale cu ajutorul unui lac de acumulare. Practic în toate amenajările mai mari este necesar să se realizeze lacuri de regularizare, cu atît mai mult cu cît acestea sînt absolut necesare şi pentru celelalte folosinţe ale apei : alimentări cu apă, irigaţii, evitarea inundaţiilor etc.

Posibilităţile de redistribuire a debitelor depind în mare măsură de mărimea (capacitatea) lacului de acumulare în raport cu volumul de apă afluent. Lacurile de acumulare pot asigura o regularizare a debitelor zilnică, sezonieră, anuală sau multianuală. Marile lacuri de acumulare de pe Bistriţa, Argeş, Lotru, Someş şi Sebeş au capacităţi ce depăşesc 50% din volumul de apă afluent într-un an, ceea ce face ca situaţiile de pierdere de apă prin deversare (evacuarea unor cantităţi de apă din lac, cînd acesta este plin, fără să fie trecute prin turbinele centralei) să fie extrem de rare, numai în cazul unor inundaţii de mari proporţii.

La tot mai multe amenajări se prevăd lucrări de majorare a debitelor utilizate, prin derivarea unor debite din bazinele hidrografice vecine. Astfel, debitele afluente de pe Lotru în amonte de lacul Vidra au fost mărite cu ajutorul unor captări din bazinele Olteţ, Jieţ, Sadu, Lotru în aval de baraj etc., debitele afluente de pe Argeş în amonte de lacul Vidraru au fost majorate cu apele rîului Topolog (din bazinul Oltului) precum şi cu apele rîurilor Vîlsan şi Rîul Doamnei, care se varsă în Argeş mult în aval de baraj etc.

Uneori este economic să fie captate cantităţi de apă aflate la cote mai joase decît apa din lacul de acumulare (dar mai ridicate decît cota la care se află turbinele centralei), care să fie aduse în lac prin pompare. Cum atît energia obţinută de la o anumită cantitate de apă, cît şi energia consumată pentru pomparea acesteia sînt proporţionale cu căderea, respectiv înălţimea de pompare, este avantajos să se

pompeze o cantitate de apă la o înălţime de cîteva zeci de metri, dacă ea va fi apoi utilizată într-o centrală cu o cădere de cîteva sute de metri, cantitatea de energie electrică consumată pentru pompare fiind mult mai mică decît aceea obţinută de la apa respectivă în generatoarele centralei.

Derivarea unor debite dintr-un bazin în altul conduce la utilizarea potenţialului respectiv în instalaţiile realizate în bazinul principal, evitîndu-se astfel construirea unei serii întregi de instalaţii care ar fi necesare în cazul unor amenajări separate.

Ca şi în cazul debitelor, şi în cazul căderilor se urmăreşte alegerea unor scheme cît mai compacte, respectiv se urmăreşte realizarea unei concentrări a căderilor ; ori de cîte ori un sector de rîu poate fi amenajat în condiţii economice într-un număr mai mic de centrale, dar de putere mai mare, se adoptă o asemenea soluţie.

Elementele principale ale unei amenajări hidroenergetice

Trebuie făcută de la început precizarea că nu există instalaţii speciale numai pentru debite şi altele numai pentru realizarea căderii (presiunii apei), în toate elementele circuitului parcurs de apă (circuitul hidrotehnic) întîlnindu-ne cu energia hidraulică şi cei doi parametri principali ai acesteia.

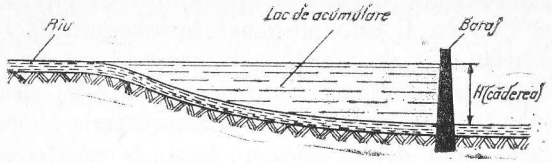
Există trei tipuri de amenajări hidraulice pentru crearea unei căderi de apă : cu baraj, în derivaţie şi mixte.

La cele cu baraj căderea se realizează prin bararea rîului şi ridicarea nivelului apei în lacul de acumulare (fig. 3.6).

La cele în derivaţie căderea se realizează prin folosirea diferenţei de nivel între două puncte ale rîului (fig. 3.7).

La cele mixte căderea se realizează atît prin folosirea diferenţei de nivel între două puncte ale rîului, cît şi prin ridicarea nivelului apei în lacul de acumulare.

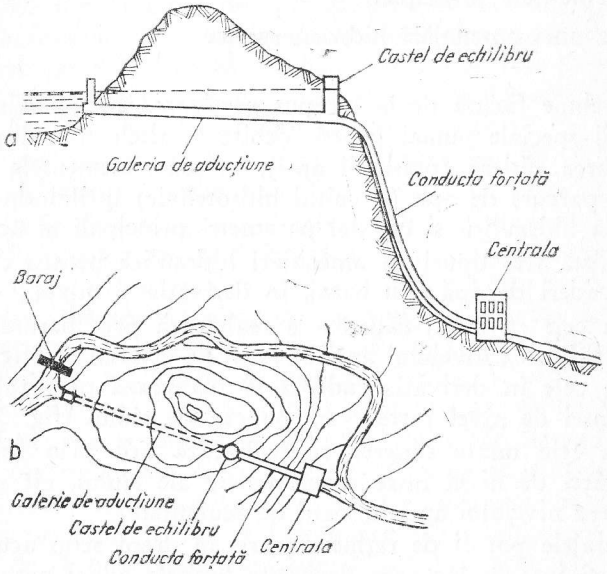
Barajele pot fi de reţinere (care au drept scop acumularea apei într-un lac care depăşeşte limitele albiei naturale a cursului de apă) şi de derivaţie (care au drept scop ridicarea



3.6. Amenajare hidraulică cu baraj.

nivelului apei în limitele albiei naturale, pentru a putea fi trimisă în canalul de derivație).

Cu ajutorul barajelor de reținere se creează lacuri de acumulare, prin care se valorifică o parte din căderea amenajată și se asigură mai buna folosire a debitelor. Dacă împărțim amenajările hidroenergetice în amenajări cu căderi mari (peste 400 m), amenajări cu căderi mijlocii (100—400 m) și amenajări cu căderi mici (sub 100 m), se constată că ponderea căderii ce se realizează prin bararea și ridicarea nivelului apei în lac crește de la 6—15% la căderile mari, la 15—35% la căderile mijlocii și 35—100% la căderile mici.



3.7. Amenajare hidraulică cu derivație.

Din prima categorie fac parte centralele Lotru și Mărișelu, cu căderi de 809 m, respectiv, 470 m.

Din a doua categorie fac parte centralele de la Bicaz (143 m), Argeș (324 m) etc.

Din ultima categorie fac parte o serie întreagă de centrale, printre care și cele construite în aval de hidrocentralele importante, cu mari lacuri de acumulare, cum sînt cele de pe valea Bistriței, Argeșului, Oltului etc., care utilizează în cea mai mare parte apa care a trecut prin turbinele de la Stejaru (Bicaz), Corbeni (Argeș), Ciunget (Lotru) etc.

Barajele se clasifică după materialele utilizate (pămînt, alte materiale locale, beton, beton armat), precum și după tipul constructiv, respectiv forma adoptată pentru a se asigura o cît mai mare rezistență la forța de împingere a apei. După tipul constructiv, cele mai întîlnite sînt barajele de greutate, la care rezistența opusă apei din lac se datorează greutății proprii a barajului, barajele în arc (din beton armat), care asigură prin forma lor curbilinie transmiterea eforturilor date de presiunea apei către malurile stîncoase ale unor văi înguste, baraje cu forme speciale, la care se urmărește reducerea volumelor de beton prin eliminarea unor părți din baraj în locurile care preiau o mai mică parte din eforturile rezultate din împingerea apei din lac, etc.

În țara noastră au fost construite baraje de greutate din beton la Bicaz — Izvorul Muntelui pe Bistrița, Porțile de Fier pe Dunăre, Gura Rîului pe Cibin etc., baraje de greutate din pămînt și materiale locale la Vidra pe Lotru, Oașa pe Sebeș, Fîntînele pe Someșul Cald, etc., iar baraje în arc la Vidraru pe Argeș, Paltinu pe Doftana, Brădișor pe Lotru etc.

La toate barajele sînt prevăzute instalații pentru evacuarea apelor mari (necesare în cazul unor debite afluente superioare celor care pot fi trecute prin turbinele centralei, în perioadele în care s-a atins nivelul maxim în lac, precum și în situații excepționale care impun golirea rapidă a lacului). Evacuarea apelor mari se face la cote superioare, prin deversare peste o anumită porțiune a barajului (care constituie deversorul) sau prin alte tipuri de descărcătoare de ape mari (prin care apa începe să se scurgă dacă depășește un anumit nivel în lac), precum și la cote inferioare, prin golirile de

fund (menţinute în mod normal închise, cu ajutorul unor vane).

Priza de apă este instalaţia cu ajutorul căreia apa este trecută din rîu sau din lac în canalul sau conducta de aducţiune. Ea trebuie să fie prevăzută cu grătare pentru oprirea corpurilor plutitoare.

Instalaţiile pentru aduncţiunea apei cuprind de cele mai multe ori trei părţi distincte ; aducţiunea de la priza de apă la castelul de apă sau camera de apă, castelul sau camera de apă şi conductele forţate. Aducţiunea apei de la priza de apă se face fie prin canale fără presiune, fie prin galerii sau conducte sub presiune. Canalele fără presiune pot fi deschise sau în galerii subterane. Galeriile sub presiune sînt săpate în stîncă şi sînt căptuşite. Atunci cînd aducţiunea este sub presiune ajunge la un castel de apă, iar cînd aducţiunea este fără presiune ajunge la o cameră de apă.

Castelul de apă şi camera de apă au rolul unor organe de distribuire a apei, precum şi de amortizare a oscilaţiilor hidraulice care apar sub forma „loviturilor de berbec", provocate de închiderea şi deschiderea vanelor de la sfîrşitul conductei forţate. La închiderea rapidă a vanei, din cauza inerţiei apei care circulă cu o anumită viteză prin conducta forţată şi care are tendinţa să-şi continue drumul, se produce comprimarea bruscă a apei şi creşterea presiunii acesteia în conducta forţată. Datorită castelului de apă, eforturile care apar în conductele forţate nu se mai transmit în galeriile sau conductele de aducţiune.

Castelul de apă, numit şi castelul de echilibru, în forma cea mai simplă este constituit dintr-un turn cilindric în care apa se ridică pe baza principiului vaselor comunicante. Camera de apă, utilizată atunci cînd aducţiunea nu este sub presiune, se amenajează sub forma unui bazin, care poate fi prevăzut şi cu un decantor. Conductele forţate leagă castelul sau camera de apă cu turbinele centralei. Ele trebuie dimensionate în mod special, pentru a rezista şi la „loviturile de berbec".

Nu toate instalaţiile amintite mai sus se întîlnesc la toate centralele. Funcţie de configuraţia terenului şi distanţa de la centrală la baraj, pot să lipsească unele dintre ele sau majoritatea lor, cum este cazul centralelor amplasate în imediata apropiere a barajului. În cazul unor centrale amplasate chiar

în baraj, apa din lacul de acumulare pătrunde direct în turbină, care este instalată într-o cameră de beton.

Ajunşi în clădirea centralei hidroelectrice vom poposi mai mult în faţa turbinelor, deoarece tocmai în aceste maşini are loc transformarea energiei hidraulice în energie mecanică. Energia hidraulică poate fi utlizată sub două forme : ca energie de mişcare (cinetică) şi ca energie de presiune (manifestată prin „forţa de împingere" a apei). Turbinele hidraulice se diferenţiază după modul de utilizare a energiei apei sub o formă sau alta.

În turbinele cu acţiune (numite şi de egală presiune) se utilizează energia cinetică a apei. Apa aflată sub presiune în conducta forţată este adusă mai întîi la nişte injectoare de apă din care iese sub forma unor jeturi cu viteze foarte mari. Acestea lovesc cu putere paletele rotorului turbinei, care au forma unor cupe, punîndu-l în mişcare.

Turbinele care utilizează energia cinetică a apei se numesc turbine Pelton, după numele inginerului care în anul 1880 a creat prima turbină de acest tip, foarte asemănătoare cu cele care se instalează în hidrocentrale după mai bine de un secol. Turbinele Pelton se utilizează la amenajarea căderilor foarte mari (în trecut în cazul unor înălţimi de peste 200 m, în prezent domeniul lor restrîngîndu-se la înălţimi de peste 500—600 m). În ţara noastră sînt instalate turbine Pelton la centralele Lotru (cu puteri de 170 MW fiecare), Dobreşti şi Moroeni, cu căderi de 230—809 m.

În turbinele cu reacţiune (cu suprapresiune), principala formă de energie utilizată este energia de presiune, ştiut fiind că presiunea exercitată de o coloană de apă de 10 m este de o atmosferă. Apa sub presiune trece din statorul turbinei în rotor „împingînd" în paletele acestuia şi punîndu-l în mişcare. După felul cum se acţionează asupra fluxului de apă, există două mari grupe de turbine cu suprapresiune : turbinele Francis, utilizate în domeniul căderilor de 50—600 m, la care palele rotorului sînt fixe, reglîndu-se debitul apei din turbină cu ajutorul palelor statorului, şi turbinele Kaplan, utilizate la căderi sub 50 m, la care sînt reglabile şi palele rotorice.

În ţara noastră sînt în funcţiune turbine Francis, cu puteri pînă la 75 MW şi căderi pînă la 470 m, în centralele Bicaz, Argeş, Mărişelu, Gîlceag, şi turbine Kaplan, cu puteri pînă la 175 MW şi căderi pînă la 42 m, în centrala Porţile

de Fier, centralele mici din cascadele de pe Argeş, Bistriţa şi Olt etc. Turbinele Kaplan şi Francis se construiesc cu axul vertical. Deasupra turbinei, pe un ax comun, este instalat generatorul electric, care are o construcţie specială.

În cazul unor căderi foarte mici, sub 15 m, se folosesc turbine speciale bulb, care sînt turbine Kaplan cu ax orizontal, la care generatorul este montat într-un carter metalic cu o formă hidrodinamică ce este plasat în mijlocul curentului de apă care curge spre rotorul turbinei. Astfel de turbine urmează să fie montate la centrala Porţile de Fier II şi la centralele de pe Olt, în aval de Slatina.

Turbinele hidraulice nu ating puterile la care au ajuns turbinele cu abur. Cele mai mari turbine cu apă în funcţiune pînă acum au puteri de 500 MW.

În clădirea hidrocentralelor se află numeroase alte elemente şi instalaţii mecanice şi electrice, cum ar fi generatoarele, vanele, instalaţiile şi circuitele de ulei, canale de apă canale de aer, cabluri electrice, instalaţii, dispozitive şi aparate de protecţie, automatizare, comandă, măsură şi control, instalaţii pentru alimentarea serviciilor interne, bateria de acumulatoare etc., precum şi camera de comandă.

Clădirea centralelor hidroelectrice poate fi exterioară, cum este la Porţile de Fier, Bicaz, majoritatea centralelor mici, sau subterană, ca în cazul centralelor Argeş, Lotru, Mărişelu etc. Amplasarea centralelor în subteran este necesară în special în cazurile în care se urmăreşte o creştere a căderii utilizate. Apa utilizată în centrală este evacuată pînă la albia rîului prin canale denumite „de fugă", în cazul centralelor exterioare, şi prin tunele (galerii) de fugă, în cazul centralelor subterane.

Cîte ore dintr-un an funcţionează o hidrocentrală ?

Deşi energia electrică nu se poate stoca (cu excepţia unor cantităţi foarte mici), există o formă indirectă de păstrare a acesteia, prin intermediul energiei hidraulice existente în lacurile de acumulare. Marea variaţie în timp a debitelor afluente impune realizarea unor mari acumulări, cu ajutorul cărora se poate face o redistribuire în timp a energiei hidraulice şi implicit a energiei electrice corespunzătoare. Pe de altă parte, variaţia zilnică şi sezonieră a consumului de energie electrică face necesară realizarea unor hidrocentrale care să funcţioneze la plină sarcină un număr redus de ore pe an, tocmai în perioadele în care consumul de energie electrică este ridicat.

Pornirea grupurilor din centralele termoelectrice cu turbine cu abur este o operaţie complicată, care durează mult La fel oprirea lor. De aceea ele sînt menţinute în continuare în funcţiune, zi şi noapte, fiind oprite numai în cazuri bine justificate sub aspect economic şi al duratei opririi. De asemenea, modificarea puterii produse de turbogeneratoare nu se poate face rapid. În schimb grupurile din centralele hidroelectrice pot fi pornite în timp scurt (de ordinul minutelor sau zecilor de minute), iar modificarea puterii produse de acestea (încărcarea-descărcarea cu putere activă) poate fi făcută rapid. Sînt hidrocentrale (cărora li se spune în glumă „centrale nervoase") ale căror grupuri pot fi pornite şi încărcate pînă la puterea maximă în cîteva minute, iar modificarea sarcinii se poate face extrem de repede. Durata de funcţionare a grupurilor instalate într-o centrală hidroelectrică depinde de valoarea debitului maxim ce poate fi uzinat în raport cu debitul mediu afluent într-un an, raportul dintre acestea fiind numit coeficient de supraechipare a centralei. Spre exemplu, dacă debitul afluent mediu, multianual, este de 50 m^3/s şi debitul maxim uzinat în centrală este de 200 m^3/s, rezultă că centrala poate funcţiona la puterea maximă un sfert din orele dintr-un an, respectiv în medie 6 ore zilnic, dacă lacul de acumulare este suficient de mare pentru a asigura regularizarea întregului volum de apă afluent într-un an. Se înţelege că valoarea de 6 ore zilnic este o valoare medie, durata de funcţionare putînd fi zero în zilele de sărbătoare, 2—3 ore în zilele de vară, şi 8—12 ore în zilele de iarnă. De asemenea, este uşor de înţeles că funcţie de caracterul hidrologic al anului (mai ploios sau mai secetos) durata de funcţionare a centralei la plină sarcină poate varia între 1 500 şi 4 000 de ore pe an (din totalul de 8 760 de ore cît are un an nebisect). Avînd în vedere că sarcina nu este menţinută la maxim tot timpul cît centrala este în funcţiune, durata de funcţionare reală a acesteia este mai mare.

Centralele electrice proiectate să funcţioneze în medie 4—8 ore zilnic, la vîrfurile de consum, se numesc centrale de vîrf, şi din această categorie fac parte toate hidrocentralele care dispun de acumulări importante.

Din regimul debitelor afluente şi din modul de utilizare al centralelor hidroelectrice rezultă că nivelul apei în lac va varia mult în cursul unui an, în perioada de primăvară (cu debite afluente mari şi durate mici de funcţionare a hidrocentralelor) avînd loc umplerea lacurilor de acumulare, după care rezerva acumulată se consumă pînă la următoarea primăvară, nivelurile minime înregistrîndu-se de obicei în perioada martie-aprilie, înainte de topirea zăpezilor în munţi. Centralele care nu dispun de lac de acumulare (centrale pe firul apei) funcţionează însă tot timpul, la sarcini care depind de debitul rîului respectiv. De asemenea, centralele aşezate pe marile rîuri sau fluvii au o funcţionare continuă, sarcina lor minimă fiind impusă de necesitatea de a se asigura anumite debite în aval. Ele au de obicei lacuri care nu asigură redistribuirea debitelor decît pe perioade scurte de timp (una sau mai multe zile).

Există şi o categorie specială de hidrocentrale cu ajutorul cărora se poate face stocarea, sub o formă indirectă, a energiei electrice (centrale cu pompare-acumulare). Ele au două lacuri de acumulare : unul principal, în amonte de centrală, şi unul în aval de centrală. Noaptea, cînd consumul este redus şi nu este necesar ca centrala să producă, aceasta va pompa apa care s-a adunat în lacul din aval înapoi în lacul din amonte, consumînd energie electrică din reţea (sistem). În perioadele cînd consumul este mare, centrala va funcţiona producînd energie electrică pe care o va debita în reţea (sistem), folosind apa acumulată în lacul din amonte şi care se adună apoi în lacul din aval.

Pentru a răspunde unei întrebări frecvente, pe care multe persoane şi-o pun după o ploaie măruntă şi de scurtă durată, şi anume „de ce nu creşte producţia pe hidrocentrale, doar a plouat", să luăm următorul exemplu : cu apa rezultată dintr-o ploaie medie (5 l/mp) care a durat 5 ore şi a cuprins un sfert din bazinul hidrocentralei Stejaru (Bicaz), care are cel mai mare bazin din ţară (4 000 Km^2), se poate produce o putere de 100 MW numai timp de 6 ore, ceea ce dovedeşte că umplerea lacurilor pentru asigurarea producţiei maxime pe hidrocentrale poate avea loc numai primăvara ca urmare a

topirii unor mari cantităţi de zăpadă sau numai în urma unor ploi torenţiale şi de lungă durată. Ploile mărunte şi temporare nu pot practic asigura creşterea producţiei de energie electrică pe hidrocentrale.

O amenajare deosebită : Porţile de Fier

Deoarece aproximativ o treime din energia electrică ce se poate obţine în totalitatea centralelor care se vor construi în ţara noastră revine centralelor de pe Dunăre, este interesant să cunoaştem mai bine pe cea mai importantă dintre ele, Porţile de Fier I, dată în exploatare încă din anul 1970.

Dunărea are de la izvoare pînă la vărsare o lungime de 2 860 km, din care 1 075 km pe teritoriul ţării noastre. Cum din aceştia 960 km reprezintă graniţa cu alte state, rezultă că utilizarea potenţialului Dunării se poate face în cea mai mare parte numai în colaborare cu ţările vecine, circa 50% din potenţialul românesc al Dunării revenind sectorului amonte de Porţile de Fier.

Sistemul energetic şi de navigaţie Porţile de Fier I a fost realizat în comun cu R. S. F. Iugoslavia, folosindu-se condiţiile naturale deosebit de favorabile existente în zona cataractelor Dunării, zonă în care se întîlneşte cel mai ridicat potenţial hidroenergetic specific (pe kilometru) din întreaga Europă. Sistemul a fost amplasat într-o zonă (km 943 de la Sulina) în care fluviul are o lăţime de 1 278 m, apele Dunării fiind oprite cu ajutorul următoarelor construcţii : 2 centrale hidroelectrice spre fiecare mal, de cîte 214 m lungime fiecare, un baraj situat între cele două centrale, de 441 m lungime, peste care pot fi deversate debitele mai mari de 9 400 m^3/s (care pot fi uzinaţi în cele două centrale), 2 ecluze pentru navigaţie, pe fiecare mal, cu o lăţime de 53 m, şi digurile de legătură dintre ecluze şi maluri, însumînd o lungime de 303 m. Soluţia constructivă adoptată permite ca fiecare din cele două state să aibă amplasate pe teritoriul naţional jumătate din construcţii, se asigură evacuarea favorabilă a debitelor mari şi a gheţurilor, precum şi o siguranţă sporită a navigaţiei.

Lacul format prin creşterea nivelului Dunării în zona celor două centrale, cu circa 22 m la debite mari şi circa 34 m la debite mici (la debitele mari şi nivelul fluviului în aval de

baraj este crescut, de aceea diferența de nivel este mai mică), se întinde în cazul debitelor mici pe o lungime de circa 300 km, pînă în zona orașului Novisad. Volumul de apă din lac este de 2,4 miliarde m^3, dar el este totuși neglijabil față de volumul de apă transportat de Dunăre într-un an (doar 1—1,5%), ceea ce face ca în acest lac să se poată face numai o regularizare zilnică a debitelor. Interesant este faptul că în cazul debitelor foarte mari puterea care se poate obține în cele două centrale scade, din cauza creșterii nivelului fluviului în aval și deci a micșorării căderii, precum și faptul că la coada lacului cota suprafeței apei din lac este mai mare decît lîngă baraj cu cîțiva centimetri (în cazul debitelor foarte mici), pînă la cîțiva metri (în cazul debitelor foarte mari), aceasta explicîndu-se prin faptul că debitul Dunării fiind destul de mare în raport cu volumul de apă din lac, lacul curge cu o anumită viteză, ceea ce face ca suprafața sa să aibă o anumită înclinație (lucru care nu se întîmplă la celelalte mari lacuri de acumulare de pe rîurile interioare, la care debitul afluent este neglijabil în raport cu volumul de apă din lac și deci și viteza de curgere a apei lacului este practic nulă).

Prin realizarea și a Sistemului Hidroenergetic și de Navigație Porțile de Fier II, se reușește ca prin amenajarea sectorului comun româno-iugoslav al Dunării, pe o lungime de circa 210 km (7,2% din lungimea totală a fluviului), să se obțină aproximativ 40% din cantitatea de energie electrică posibil de realizat în centralele hidroelectrice ce se pot construi pe acest fluviu, al doilea ca mărime din Europa, după Volga.

Energia ce se realizează în cele două centrale de la Porțile de Fier I (în fiecare fiind instalate cîte 6 grupuri de cîte 175 MW) se împarte în mod egal între cele două țări, deoarece și cheltuielile pentru realizarea lucrărilor de amenajare au fost suportate în părți egale. Fiecare centrală are dreptul să uzineze jumătate din cantitatea de apă disponibilă zilnic, pentru a produce cantități egale de energie electrică.

Realizarea lucrărilor de la Porțile de Fier are o mare importanță pentru navigație, aceasta putîndu-se face în prezent în zona lacului în tot timpul anului, față de numai aproximativ 200 de zile pe an în perioada premergătoare dării în exploatare a sistemului.

Exemplu de colaborare fructuoasă a două țări vecine și prietene, Porțile de Fier constituie o mîndrie pentru energeticienii din România și Iugoslavia, prin soluțiile adoptate, realizarea acestora și prin rezultatele excepționale obținute în valorificarea potențialului hidroenergetic comun.

Cîteva „recorduri" din cadrul amenajărilor hidroenergetice din țara noastră

La încheierea scurtei noastre vizite prin centralele hidroelectrice ne dăm seama că despre amenajările hidroenergetice din țara noastră ar mai fi multe de spus ; despre schimbările de peisaj care apar odată cu amenajările hidroenergetice, „marea" de la Bicaz și noua stațiune turistică Voineasa fiind exemple concludente în acest sens, despre pescărușii care au putut fi văzuți pentru prima dată în interiorul țării după apariția unor mari lacuri de acumulare și popularea acestora cu pești, despre dezvoltarea turismului în aceste zone, despre schimbările de microclimat care apar odată cu marile lacuri, despre hidrocentrala de la Valea Mare (Motru), o construcție deosebită, centrala fiind înconjurată de apele lacului de acumulare, ajungîndu-se la ea pe un pod care o leagă de mal, despre priceperea și eroismul constructorilor de hidrocentrale și încă multe altele.

Înainte de a ne continua călătoria și prin alte centrale, să amintim despre cîteva „recorduri naționale" din cadrul amenajărilor hidroenergetice din țara noastră (date în exploatare pînă la jumătatea anului 1983) :

„Cea mai mare centrală hidroelectrică : Porțile de Fier I — 1 050 MW în centrala română — 2 100 MW pe ansamblul celor două centrale (română și iugoslavă) ;

„Cea mai mare hidrocentrală de pe rîurile interioare : Lotru (Ciunget) — 510 MW" ;

„Grupurile cu cea mai mare putere instalată : Porțile de Fier I — 6 grupuri de cîte 175 MW în centrala română — 12 grupuri de cîte 175 MW în cele două centrale" ;

„Căderea amenajată cea mai mare : Lotru (Ciunget) — 809 m" ;

„Debitul instalat maxim : Porțile de Fier I — 9 400 m^3/s (inclusiv în centrala iugoslavă)" ;

„Debitul instalat maxim pe rîurile interioare : Cascada de hidrocentrale de pe Olt (între Turnu și Slatina) cu cîte 330 m^3/s" ;

„Barajul cu cea mai mare înălțime : Vidraru (Argeș) — 167 m" ;

„Barajul de pe rîurile interioare cu cel mai mare volum de beton înglobat : Izvorul muntelui (Bicaz) — 1,6 milioane m^3" ;

„Barajul de pe rîurile interioare cu cel mai mare volum de materiale locale înglobat : Vidra (Lotru) — 3,5 milioane m^3" ;

„Lacul cu cel mai mare volum de apă : Porțile de Fier I — 2,4 miliarde m^3" ;

„Lacul cu cel mai mare volum de apă de pe rîurile interioare : Izvorul Muntelui (Bicaz) — 1,2 miliarde m^3" ;

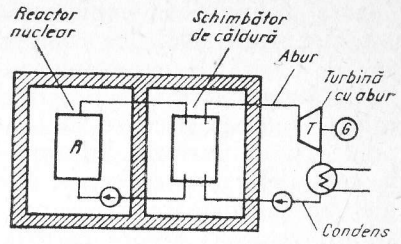
Atomul în slujba noastră : centralele nuclearoelectrice

Fisiunea nucleelor atomice grele, în special de uraniu-233 (U-233), uraniu-235 (U-235), plutoniu-239 (Pu-239), cu ajutorul neutronilor, conduce la eliberarea unor mari cantități de energie, de milioane de ori mai mari decît în cazul procesului de ardere a combustibililor clasici. Astfel, dacă prin arderea unui kilogram de huilă se obține o energie calorică de circa 7 000 kcal, prin fisiunea unui kilogram de U-235 se obțin circa 20 miliarde kcal.

Energia nucleară nu este transformată direct în energie electrică, ci mai întîi în energie termică, după care urmează același ciclu de transformări ca într-o centrală termoelectrică : energie termică — energie mecanică — energie electrică. O centrală nuclearoelectrică (CNE) are în principiu două părți : o primă parte, avînd ca element principal reactorul nuclear, în care energia combustibilului nuclear este transformat în energie termică și o a doua parte, asemănătoare cu aceea dintr-o centrală termoelectrică clasică, unde energia termică este transformată în energie mecanică și apoi în energie electrică.

A considera însă că la centrala nuclearoelectrică se înlocuiește doar cazanul de abur cu un reactor nuclear ar în-

3.8. Schema de principiu a unei centrale nuclearoelectrice cu două circuite termice.



semna să se simplifice lucrurile prea mult. De fapt, centrala nuclearoelectrică prezintă în structura sa internă și externă diferențe mari față de centrala termoelectrică convențională. Radioactivitatea are o importanță deosebită ca fenomen care însoțește fisiunea nucleară. Ea necesită măsuri de protecție contra radiațiilor, care trebuie să aibă în vedere atît radiațiile care se produc în timpul funcționării centralei, cît și radioactivitatea reziduală a combustibilului folosit. Problema se rezolvă tehnic prin folosirea ecranelor și prin îmbrăcarea elementelor corespunzătoare ale instalațiilor cu un material absorbant de radiații.

Dat fiind că aburul produs în reactor devine puternic radioactiv, este necesar ca turbina cu abur să fie instalată într-o încăpere protejată contra radiațiilor. De aceea se folosesc și scheme cu două sau trei circuite termice. Agentul termic care circulă prin reactor (gaz, apă sub presiune, metale în stare lichidă) preia căldura de la acesta și apoi, într-un schimbător de căldură, o cedează apei, transformînd-o în abur care va acționa turbina (fig. 3.8.).

În schema cu trei circuite termice, agentul care trece prin reactor preia căldura de la acesta, o cedează într-un schimbător de căldură unui agent intermediar, care la rîndul său o cedează în alt schimbător de căldură apei, transformînd-o în aburul necesar acționării turbinei.

Centralele electrice nucleare pot fi construite și cu turbine cu gaze. Deoarece gazele folosite nu devin radioactive la trecerea prin reactor, ele vor fi întrebuințate pentru acționarea turbinei cu gaze fără a fi necesare măsuri deosebite de protecție a agentului motor.

În ultimii ani s-au făcut progrese considerabile în domeniul construcției centralelor nuclearoelectrice, ajungîndu-se la

o mare securitate în exploatarea acestora şi la un preţ de cost al energiei electrice comparabil cu cel al energiei produse de centralele termoelectrice care folosesc cărbune.

Cercetările intense şi progresele realizate în domeniul centralelor nuclearoelectrice au dat, la rîndul lor, impulsuri rodnice şi au furnizat informaţii preţioase pentru construcţia centralelor convenţionale. Printre ele sînt de menţionat: folosirea calculatoarelor electronice pentru exploatarea instalaţiilor, cercetări asupra materialelor şi încercările acestora, construcţia turbinelor mari, pătrunderea electronicii în domeniul protecţiei, reglării, controlului şi automatizării centralelor, tehnica sudurii etc.

La sfîrşitul anului 1981 se aflau în exploatare în lume 272 reactori nucleari, cu o putere totală instalată de 152 603 MW, amplasaţi în 23 de ţări, care permiteau realizarea a circa 9% din producţia de energie electrică a lumii. De asemenea, erau în construcţie încă 238 de reactori nucleari. Se estimează că pînă la sfîrşitul anului 1985, circa 17% din consumul de energie electrică pe glob va fi acoperit din cele peste 400 de centrale nuclearoelectrice care vor fi în funcţiune la acea dată.

Costul energiei electrice produse în centralele nucleare actuale este net inferior celui realizat în centralele pe păcură şi competitiv cu cel realizat în centralele pe cărbune.

Printre ţările care vor dispune în următorii ani de centrale nucleare se află şi ţara noastră. Prima dintre acestea, centrala de la Cernavodă, se află în construcţie. Ea va fi dotată în final cu 5 grupuri de cîte 660 MW. În programul de dezvoltare a energeticii nucleare, este prevăzută construirea în Moldova a unei centrale care va avea în final 3 grupuri de cîte 1 000 MW, din care unul va intra în funcţiune pînă în 1990, iar în Transilvania a unei centrale similare cu cea de la Cernavodă, unul sau două grupuri urmînd să fie puse în funcţiune pînă în 1990.

Alte încercări de centrale electrice: eoliene; solare; geotermice etc.

În afara centralelor termo, hidro şi nuclearoelectrice, care produc actualmente aproape în exclusivitate energia electrică care se consumă pe glob, mai sînt cunoscute şi alte tipuri de centrale electrice. În momentul de faţă ele sînt însă în faza de căutări şi perfecţionări şi practic nu contează încă în balanţa producţie-consum de energie electrică. Fără îndoială însă că într-un viitor nu prea îndepărtat, pe măsura perfecţionării instalaţiilor şi reducerii preţului de cost al energiei obţinute, contribuţia lor la producţia de energie electrică va creşte într-o măsură destul de însemnată.

Centralele electrice eoliene folosesc energia curenţilor de aer pentru a pune în mişcare o turbină eoliană. În principiu, o astfel de instalaţie constă dintr-un turn pe care este instalată o turbină eoliană, generatorul fiind cuplat direct cu turbina. Puterile lor sînt relativ mici, în general sub 1 MW. Există însă studii şi proiecte pentru unităţi pînă la circa 4 MW. În Suedia, la Trelleborg, este în funcţiunea cea mai mare centrală eoliană din lume la ora actuală, cu o putere de 3 MW. Şi la noi în ţară au fost construite centrale electrice eoliene, cu puteri de pînă la cîteva zeci de kW, existînd o preocupare permanentă pentru construcţia de instalaţii cu puteri unitare mai mari.

Centralele electrice solare folosesc energia radiaţiilor solare pentru obţinerea energiei electrice. Aceasta poate fi obţinută pe două căi: prin intermediul energiei mecanice şi prin conversia directă a energiei solare în energie electrică.

În primul caz, radiaţiile solare sînt concentrate de o serie de oglinzi, cu suprafeţe mari, încălzind apa dintr-un rezervor situat într-un turn înalt. Aburul astfel obţinut pune în mişcare turbina cuplată cu generatorul electric. Surplusul de căldură produs în timpul zilei poate fi înmagazinat într-un rezervor de stocare a energiei termice (o masă de granit şi nisip, căldura fiind adusă sau preluată de la aceasta cu ajutorul uleiului rafinat, un rezervor în care se află un amestec de săruri sub formă lichidă etc.), pentru a permite funcţionarea centralei, un număr de ore, şi noaptea sau în zilele mai puţin însorite.

În momentul de faţă puterile la care s-a ajuns nu depăşesc cîţiva megawaţi, iar costul energiei electrice obţinute este ridicat. Centrala „Solar One", amplasată într-o regiune de deşert a Californiei, are o putere de 10 MW, suprafaţa ocupată de cele 21 816 oglinzi fiind de 7,5 ha. Centrala franceză „Thémis", instalată în munţii Pirinei, are o putere de 2,5 MW, iar centrala japoneză din insula Shikoku o putere de 1 MW.

Specialiștii români au realizat prima centrală electrică solară din țara noastră, cu o putere de 30 kW. În faza de proiect se află și o centrală de 100 kW.

Generatoarele de energie electrică care realizează transformarea directă a energiei solare în energie electrică, fără să treacă prin stadiul de energie mecanică, sînt bazate pe trei fenomene : efectul termoelectric, efectul termoionic și efectul fotoelectric (fotovoltaic). Cercetările au fost orientate în principal spre conversia fotovoltaică, care utilizează proprietatea celulelor fotovoltaice de a transforma radiația luminoasă direct în electricitate. Costul elementelor fotovoltaice este încă foarte ridicat, dar este de așteptat ca în viitor să scadă foarte mult. În Spania, în apropiere de Madrid, se construiește cea mai mare centrală fotovoltaică din lume, cu o putere de 100 kW. Se speră că într-un viitor nu prea îndepărtat se vor putea construi astfel de centrale cu puteri mult mai mari, la prețuri competitive.

Pînă acum s-au obținut însă rezultate mai bune în utilizarea energiei solare pentru obținerea de energie termică (prepararea apei calde, încălzirea locuințelor etc.) decît pentru obținerea de energie electrică.

Centralele electrice geotermice folosesc energia conținută în aburul geotermic, extras din adîncul pămîntului prin foraje, pentru acționarea mașinilor termice cuplate cu generatoare electrice. Puterea instalată în astfel de centrale depășea 1 300 MW la nivelul anului 1980 și se prevede să crească în ritm rapid. Principalele țări producătoare de electricitate din surse geotermice sînt : S.U.A., Noua Zeelandă, Japonia, Mexic, Italia și U.R.S.S.

Recurgîndu-se la un agent de lucru intermediar, se poate folosi și energia termică a apelor geotermale pentru obținerea de energie electrică. Apa caldă cedează căldura unui gaz, care la rîndul său acționează o mașină termică cuplată cu generatorul electric.

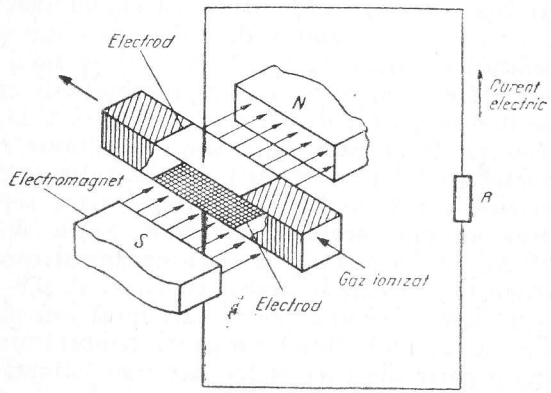
Resursele hidrogeotermice, sub formă de apă caldă cu temperaturi de 60—95°C, mult mai răspîndite decît cele sub formă de abur geotermic, se valorifică pe scară largă în diferite țări (Islanda, U. R. S. S., Ungaria, Noua Zeelandă, S.U.A. etc.) pentru acoperirea unor consumuri de energie termică (încălzirea clădirilor, utilități agrozootehnice, balneologice și industriale etc.). Energia obținută în prezent pe această cale depășește echivalentul energiei electrice produse cu abur geotermic.

Și țara noastră dispune de surse de ape geotermale, în special în zona de vest a țării, care au început să fie utilizate la încălzirea clădirilor, prepararea apei calde, alimentarea cu căldură a serelor etc. Se întreprind cercetări și pentru obținerea de energie electrică cu ajutorul energiei geotermice.

Centralele electrice cu generatoare magnetohidrodinamice (MHD), care transformă căldura dată de combustibili direct în energie electrică.

Funcționarea generatoarelor MHD se bazează tot pe principiul inducției, ca și generatoarele clasice. Se știe că într-un conductor metalic care se mișcă într-un cîmp magnetic, întretăind liniile de forță ale acestuia, se induce o tensiune electromotoare. Dacă se închide circuitul, prin el va circula un curent electric. La generatoarele MHD, în locul conductorului metalic se introduce în cîmpul magnetic un gaz puternic ionizat, la temperaturi înalte, a cărui direcție de deplasare este perpendiculară pe liniile de forță ale cîmpului (fig. 3.9).

Prin deplasarea gazului ionizat (care este un purtător de sarcini electrice libere) perpendicular pe direcția cîmpului magnetic, apare o forță electromotoare, care face ca sarci-



3.9. Schema de principiu a unui generator MHD.

nile electrice să se deplaseze perpendicular pe direcţia de mişcare a mediului conducător (gazul) şi pe direcţia cîmpului magnetic. Între cei doi electrozi va apare o diferenţă de potenţial (o tensiune electrică). Dacă aceştia sînt legaţi printr-o rezistenţă exterioară, în circuitul format din gaz, electrozi şi rezistenţă va circula un curent electric continuu.

Pentru ca un gaz să aibă un grad suficient de ionizare el trebuie încălzit la temperaturi foarte înalte, mult superioare celor la care pot rezista materialele cunoscute. Prin introducerea în gaz a unor metale alcaline se obţine în domeniul temperaturilor de circa 2 200—2 900°C, deci în limite tehnice acceptabile, o plasmă cu o conductivitate electrică suficientă. Pentru obţinerea unor tensiuni şi puteri mari este necesar ca viteza gazului (plasmei) prin cîmpul magnetic să fie foarte mare, în cele mai multe cazuri depăşindu-se viteza sunetului.

Gazele la temperaturi înalte, necesare pentru funcţionarea generatoarelor MHD, se pot obţine fie prin arderea combustibililor clasici, fie cu ajutorul reactoarelor nucleare cu temperatură înaltă, răcite cu gaz.

Generatoarele MHD pot fi cu circuit deschis (gazele care au trecut prin generator sînt evacuate în atmosferă) sau cu circuit închis (gazele se reîntorc la reactorul nuclear, unde li se ridică din nou temperatura şi reintră în circuit). Sînt şi generatoare MHD în circuit închis care folosesc ca fluid de lucru, în locul gazelor, metale lichide.

În principiu, un generator MHD cu circuit deschis funcţionează astfel : într-o cameră de ardere se obţin gaze arse cu temperaturi de circa 2 200—2 800°C şi presiuni de circa 6—12 atmosfere, prin arderea unor combustibili convenţionali (gaze naturale, praf de cărbune, petrol etc.). De aici ele trec în camera de amestec, unde sînt însămînţate cu o sare a unui metal (cesiu, potasiu etc.) care măreşte conductibilitatea electrică a gazului ionizat. Printr-o duză supersonică, unde viteza lor este mărită foarte mult, gazele sînt trimise în canalul MHD (înconjurat de electromagnetul care creează cîmpul magnetic) pe care îl străbat cu viteze de 0,8—2 Mach (0,8—2 ori viteza sunetului), după care intră într-un difuzor supersonic. În canalul MHD viteza şi temperatura gazelor scade, deci o parte din energia lor este transformată în energie electrică. Deoarece la o temperatură de circa 2 000°C conductibilitatea electrică a gazelor de ardere scade foarte mult, generatoarele MHD sînt astfel construite încît gazele să iasă cu o temperatură în jurul acestei valori.

Pentru a recupera o parte din energia rămasă în curentul de gaze, este utilizată de obicei o instalaţie de producere a aburului, încălzită cu aceste gaze. Aburul obţinut este folosit pentru acţionarea unei turbine cu abur, cuplată cu un generator electric clasic. În locul unei instalaţii cu turbine cu abur pot fi folosite şi instalaţii cu turbine cu gaze. Astfel o parte din energia electrică produsă este obţinută în generatorul MHD, iar o parte este obţinută într-o instalaţie clasică cu turbină cu abur sau cu turbină cu gaze.

În momentul de faţă, instalaţiile MHD sînt încă în faza de căutări şi perfecţionări, dar pentru viitor li se întrevede un rol important. Instalarea unor generatoare MHD în complexul unor centrale termoelectrice clasice şi nuclearoelectrice ar face ca randamentul global al acestora să crească pînă la circa 60%. Există posibilităţi de producere directă de curent alternativ de frecvenţă industrială cu ajutorul generatoarelor MHD, astfel încît s-ar putea dispune de un generator ideal de energie electrică, de mare putere, cu randament ridicat. Au fost deja construite generatoare MHD cu puteri de cîteva zeci de MW, iar în unele ţări sînt deja în funcţiune centrale MHD (U.R.S.S., S.U.A., Australia, Canada, Olanda etc.), în special cu scop experimental. Şi la noi în ţară au fost construite generatoare MHD, deocamdată de putere mică, pentru cercetări în acest domeniu.

CAPITOLUL 4

CĂLĂTORIA CURENTULUI ELECTRIC DE LA CENTRALA ELECTRICĂ PÎNĂ LA LOCUINŢA NOASTRĂ

Odată produsă de către generatorul din centrale, energia electrică porneşte într-o călătorie plină de peripeţii către locurile unde va pune în mişcare maşinile din fabrici şi ateliere, tramvaiele şi troleibuzele, va lumina străzile şi locuinţele, va da viaţă televizoarelor şi aparatelor de radio şi va face încă multe alte lucruri care ar fi de neînchipuit fără existenţa sa.

Cîteodată această călătorie este destul de scurtă dar, în multe cazuri, ea trebuie să parcurgă sute şi uneori chiar mii de kilometri pînă să ajungă la destinaţie. Călătorind însă cu cea mai mare viteză care este posibilă în univers, viteza luminii, va ajunge la capătul călătoriei aproape în acelaşi moment în care a plecat. Cînd călătoreşti cu o viteză de 300 000 de kilometri pe secundă, chiar o distanţă de o mie de kilometri va fi parcursă în numai a treisuta parte dintr-o secundă. Ca şi voinicul din poveste, energia electrică ajunge într-o clipă acolo unde este nevoie de ea. În această clipă are însă timp să parcurgă distanţe uriaşe, să treacă peste munţi, să traverseze rîuri şi şosele, să călătorească pe sub pămînt sau pe sub ape, prin oraşe şi sate şi, uneori, chiar prin mai multe ţări.

Pentru a putea fi transportată, energia electrică trebuie transformată la tensiuni înalte

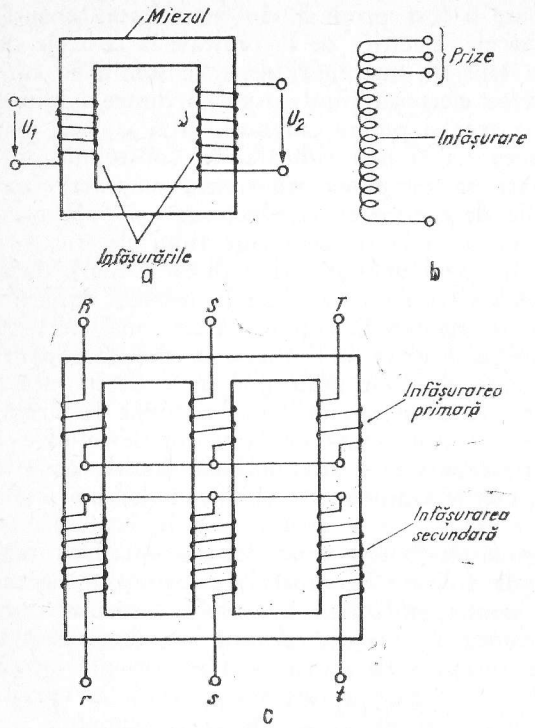
Transportul energiei electrice la distanţe şi în cantităţi mari nu se poate face la tensiunea la care este produsă de generatoarele din centrale. Numai în cazul în care consumatorii sînt foarte aproape de centrală şi nu este vorba de puteri prea mari, energia electrică este transportată la aceştia

la tensiunea la care a fost produsă. În majoritatea cazurilor, transportul energiei electrice de la centrale la centrele de consum se face la tensiuni mai mari decît tensiunile la care este produsă. Puterea electrică fiind produsul dintre tensiune şi curent, pentru o aceeaşi putere curentul va fi cu atît mai mic cu cît tensiunea va fi mai ridicată. În consecinţă prin aceleaşi conductoare se va putea transporta o putere mai mare, iar pierderile de energie în conductoare şi aparataj, datorită încălzirii acestora la trecerea curentului electric, vor fi mult mai mici. În cazul unor puteri şi distanţe mari, dacă transportul energiei electrice nu s-ar face la tensiuni suficient de înalte, căderile de tensiune în conductoarele liniei electrice prin care se transportă aceasta ar fi foarte mari şi la capătul liniei s-ar ajunge cu o tensiune mult mai mică decît aceea cu care s-a plecat. De aceea, atunci cînd porneşte la drum, energia electrică este transformată de la tensiunile la care a fost produsă de generatoare la tensiuni mai înalte, cu atît mai mari cu cît puterile transportate şi distanţele sînt şi ele mai mari.

Deoarece receptoarele funcţionează la tensiuni mult mai mici decît tensiunile folosite în general pentru transportul energiei electrice, pentru utilizarea acesteia la consumatori este necesar ca tensiunea sa să fie redusă pînă la valorile pentru care sînt construite receptoarele. Ea va fi transformată acum de la tensiunile înalte la care a fost transportată la tensiunile necesare distribuirii şi utilizării sale la consumatori. În călătoria sa de la centrale pînă la consumatori, energia electrică suferă deci o serie de transformări la diferite tensiuni, alese astfel încît transportul şi distribuţia să se facă cît mai economic, cu cît mai puţine pierderi şi în condiţii de siguranţă cît mai mari.

Transformarea energiei electrice de la tensiuni mici şi curenţi mari la tensiuni ridicate şi curenţi mici şi invers, se face cu ajutorul transformatoarelor.

Un transformator monofazat simplu este compus dintr-un miez de oţel pe care se află două bobine care au un număr diferit de spire (rig. 4.1.a). Spirele bobinelor alcătuiesc înfăşurările transformatorului. Miezul este alcătuit din tole de oţel special, izolate între ele prin foiţe de hîrtie, lacuri sau alte materiale izolante, la fel ca la indusul generatoarelor. Înfăşurările sînt alcătuite din conductoare de cupru sau aluminiu, izolate cu fire de bumbac, mătase, hîrtie, lacuri etc.



4.1. Transformatoare.

Dacă la capetele bobinei *1* aplicăm o tensiune alternativă U_1, prin spirele acesteia va circula un curent I_1, care va da naștere unui cîmp magnetic alternativ ale cărui linii de forță se vor închide prin miezul de oțel.

Cîmpul magnetic fiind variabil în timp, ca și curentul care îl produce, va induce în spirele bobinei *2* o tensiune electromotoare și între capetele acesteia va apărea o tensiune alternativă U_2. Înfășurarea transformatorului (bobina T_1) care este alimentată cu tensiune de la sursa de curent se numește *înfășurare primară*, iar cealaltă (bobina *2*), la capetele căreia apare tensiunea indusă U_2, se numește *înfășurare secundară*. Cît timp înfășurarea secundară funcționează în gol (nu se racordează între capetele acesteia nici un receptor, circuitul rămînînd deschis) prin ea nu va circula curent.

Valoarea tensiunii U_2, apărută între capetele sale, depinde atît de valoarea tensiunii U_1 aplicate înfășurării primare, cît și de raportul între numărul de spire al celor două înfășurări. La funcționarea transformatorului în gol, tensiunea secundară va fi practic de atîtea ori mai mare (sau mai mică) decît tensiunea primară, de cîte ori numărul de spire al înfășurării secundare va fi mai mare (sau mai mic) decît numărul de spire al înfășurării primare.

$$U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$$

Raportul dintre numărul de spire al înfășurării primare și înfășurării secundare constituie *raportul de transformare* al transformatorului respectiv. El este egal cu raportul dintre cele două tensiuni la funcționarea în gol a transformatorului. Astfel, dacă înfășurarea primară are 400 de spire, iar înfășurarea secundară 200 de spire, aplicînd înfășurării primare o tensiune de 220 V vom obține între capetele înfășurării secundare o tensiune de 110 V. Raportul de transformare este 2.

Același transformator poate fi folosit și pentru ridicarea tensiunii. Alimentînd înfășurarea care are 200 de spire cu o tensiune de 110 V (acum aceasta este înfășurarea primară) vom obține între capetele înfășurării care are 400 de spire (care este acum înfășurarea secundară) o tensiune de 220 V.

Legînd la bornele înfășurării secundare un receptor, acesta va absorbi un curent a cărui valoare depinde de puterea sa. Transformatorul va funcționa în sarcină și prin înfășurarea sa secundară va circula acum un curent.

Prin înfășurarea primară, curentul va crește pînă la valoarea la care va echilibra curentul din înfășurarea secundară. Curentul secundar I_2 depinde de sarcina conectată la bornele înfășurării secundare, iar curentul primar I_1, absorbit de la sursa de alimentare, depinde de curentul secundar I_2 și de raportul între numărul de spire al celor două înfășurări. Puterea pe care receptorul o absoarbe de la transformator va fi la rîndul său absorbită de către acesta de la sursa de alimentare.

Cu aproximație, se poate spune că în înfășurarea primară curentul va fi de atîtea ori mai mic (sau mai mare) decît curentul în înfășurarea secundară, de cîte ori numărul de spire al înfășurării primare va fi mai mare (sau mai mic)

decît numărul de spire al înfăşurării secundare, deci invers decît în cazul tensiunilor.

$$I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2$$

Aproximaţia provine din faptul că în transformator se consumă o mică parte din energia care trece prin acesta şi se produce o decalare între curentul primar şi curentul secundar.

La funcţionarea transformatorului în sarcină, tensiunea la bornele înfăşurării secundare va fi ceva mai mică decît la funcţionarea în gol, deoarece în înfăşurările acestuia are loc o cădere de tensiune datorită circulaţiei curentului electric prin bobinaj.

Pentru a putea regla tensiunea în funcţie de necesităţi (a acoperi căderile de tensiune care au loc în reţea), transformatoarele din reţelele electrice se prevăd cu prize de reglaj. Acestea permit modificarea numărului de spire active ale înfăşurării şi în acest fel modificarea raportului de transformare (fig. 4.1.b.). Legăturile de la înfăşurări se scot la un comutator de prize (comutator de ploturi). Manevrarea acestuia se face în general numai atunci cînd transformatorul nu este sub tensiune. Transformatoarele de putere mare din reţelele electrice se prevăd însă cu comutatoare de ploturi de construcţie specială, care pot fi manevrate şi atunci cînd transformatorul este în sarcină (comutatoare de ploturi sub sarcină).

Pentru sistemele de curenţi trifazaţi se construiesc transformatoare trifazate. Un transformator trifazat poate fi alcătuit din trei transformatoare monofazate ale căror înfăşurări primare şi secundare se leagă în stea sau în triunghi.

Acest sistem de transformatoare trifazate nu se foloseşte însă decît în cazul unor unităţi de puteri şi tensiuni foarte mari, unde se pun probleme deosebite privind transportul, izolaţia etc. În general se construiesc transformatoare trifazate la care înfăşurările primare şi secundare ale celor trei faze se aşază pe un miez comun (fig. 4.1.c.) şi se leagă între ele în stea sau în triunghi.

De asemenea, se construiesc transformatoare care au trei înfăşurări, o înfăşurare primară şi două înfăşurări secundare pentru tensiuni diferite. Se pot obţine astfel două tensiuni secundare diferite cu ajutorul unui singur transformator.

Spre exemplu, putem avea un transformator cu trei înfăşurări, pe care alimentîndu-l cu tensiunea primară de 110 kV să obţinem două tensiuni secundare: de 20 şi 6 kV.

În loc de două transformatoare avem unul singur.

Transformatoarele transmit energia electrică de la înfăşurarea primară la înfăşurarea secundară prin intermediul cîmpului magnetic alternativ. Înfăşurările nu vin în contact (nu există o legătură galvanică între ele), fiind izolate una faţă de cealaltă. Un transformator realizează un cuplaj magnetic (nu unul galvanic) între circuitele legate la înfăşurarea primară şi cele legate la înfăşurarea secundară.

În cazul autotransformatoarelor, acestea nu au decît o înfăşurare. O parte din spirele acesteia aparţine în acelaşi timp şi primarului şi secundarului (fig. 4.2.). Borna *a* este comună, iar la borna *c* este adusă legătura de la o parte din înfăşurare. Dacă se aplică tensiunea U_1 la capetele extreme ale înfăşurării (între bornele a şi b), între bornele *a* şi *c* se obţine tensiunea secundară U_2.

La funcţionarea în gol a autotransformatorului, aceasta va fi de atîtea ori mai mică decît tensiunea primară U_1 de cîte ori numărul de spire cuprins între bornele *a* şi *c* este mai mic faţă de numărul de spire cuprins între bornele *a* şi b. Raportul între aceste numere de spire este raportul de transformare al autotransformatorului. În acest caz autotransformatorul este coborîtor de tensiune.

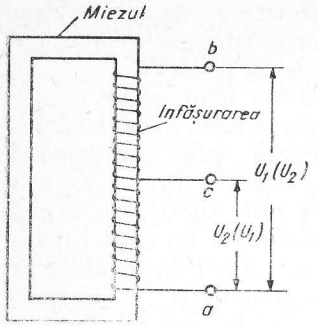
Dacă îl alimentăm cu o tensiune U_1 între bornele *a* şi *c*, se obţine între bornele *a* şi *b* tensiunea secundară U_2, care este mai mare în acest caz decît tensiunea primară U_1. Autotransformatorul este acum ridicător de tensiune.

La autotransformatoare energia electrică este transmisă de la primar la secundar pe două căi: o parte prin intermediul cîmpului magnetic iar o parte direct.

La aceeaşi putere, un autotransformator este de dimensiuni mai mici decît un transformator şi mai economic. Avantajele autotransformatoarelor scad pe măsură ce creşte raportul de transformare. De aceea, ele sînt preferate în general transformatoarelor numai pentru rapoarte de transformare de doi sau mai mici.

Ca şi transformatoarele, ele se prevăd cu comutatoare de ploturi pentru reglarea tensiunii.

La transformatoarele şi autotransformatoarele de puteri foarte mici miezul şi înfăşurările funcţionează în aer.



4.2. Autotransformator.

La celelalte, miezul împreună cu bobinele sînt introduse într-o cuvă de oțel în care se află ulei izolant (ulei de transformator). Capetele bobinelor sînt scoase în afara cuvei la niște borne, prin intermediul unor izolatoare de trecere.

Uleiul din cuvă, pe lîngă calitățile sale izolante, servește și la răcirea bobinajului și miezului, care în timpul funcționării se încălzesc.

Pentru răcirea uleiului, pe cuva transformatoarelor de puteri mai mici se prevăd niște aripioare pentru mărirea suprafeței de contact a cuvei cu aerul. La cele de puteri mai mari se prevăd radiatoare. Circulația uleiului prin cuvă și prin radiatoare se face fie natural, datorită diferenței de densitate dintre uleiul cald și uleiul rece, fie cu ajutorul unor pompe (circulație forțată). La transformatoarele și autotransformatoarele de puteri mari și foarte mari se prevăd și ventilatoare care creează un curent puternic de aer prin radiatoare, intensificînd răcirea uleiului.

Caracteristicile principale ale unui transformator sau autotransformator sînt puterea sa nominală Sn (puterea aparentă nominală, dată în VA, kVA sau MVA) și tensiunile nominale primară și secundară (tensiunile nominale se referă la funcționarea în gol a transformatorului sau autotransformatorului și sînt date în V sau kV). Astfel, un transformator coborîtor de 40 MVA — 110/6,6 kV, înseamnă că are o putere nominală Sn=40 MVA, iar tensiunile nominale între faze ale celor două înfășurări sînt de 110 kV și 6,6 kV. Tensiunea de 110 kV este tensiunea superioară, iar cea de 6,6 kV tensiunea inferioară.

Dacă printr-un transformator sau autotransformator circulă o putere mai mare decît puterea sa nominală, acesta va

funcționa cu suprasarcină. În cazul de mai sus, dacă prin transformator circulă o putere de 50 MVA acesta funcționează cu o suprasarcină de 25%. Funcționarea cu suprasarcină nu este admisă decît în anumite condiții și în anumite limite, deoarece poate conduce la încălzirea bobinajului, miezului și uleiului, peste valorile admise și, în final, la deteriorarea transformatorului.

Pentru transportul și distribuția energiei electrice se întrebuințează transformatoare și autotransformatoare cu puteri de la cîțiva kVA pînă la cîteva sute de mii de kVA. Industria noastră electrotehnică produce în momentul de față toată gama de transformatoare și autotransformatoare de care este nevoie. Se produc astfel atît transformatoare cît și autotransformatoare cu puteri pînă la 400 000 kVA (400 MVA) și tensiunea superioară pînă la 400 000 V (400 kV).

Autotransformatoarele care fac legătura între rețeaua de 400 kV și rețeaua de 750 kV (care va apărea și la noi în țară într-un viitor apropiat) au puteri de pînă la 1 250 000 kVA (1 250 MVA). Autotransformatoarele care se construiesc pentru a realiza legătura între rețeaua de 500 kV și rețeaua de 1 150 kV (U.R.S.S.) vor avea puteri de 2 000 000 kVA (2 000 MVA).

Trebuie remarcat faptul că numai curentul alternativ se poate transforma de la o tensiune la alta, în mod simplu și economic, cu ajutorul transformatoarelor și autotransformatoarelor. Curentul continuu nu poate fi transformat cu ajutorul acestora. Dacă am alimenta înfășurarea primară a unui transformator cu o tensiune continuă, curentul care va circula prin aceasta va fi de asemenea continuu. Cîmpul magnetic creat de el în miezul transformatorului nu va mai fi variabil în timp, ca în cazul curentului alternativ și în consecință în spirele înfășurării secundare nu va mai fi indusă o tensiune electromotoare.

La început energia electrică era produsă, transportată și utilizată numai în curent continuu. Mai tîrziu însă a început să fie folosit din ce în ce mai mult curentul alternativ, la început monofazat apoi și trifazat, care prezintă o serie de avantaje față de curentul continuu. În curent alternativ energia electrică poate fi transformată la tensiuni înalte, transportată la distanțe mari și apoi transformată din nou la tensiunea de utilizare. Motoarele electrice de curent alternativ, în special motoarele asincrone trifazate, sînt de construcție

mult mai simplă decît cele de curent continuu şi mai robuste.

Puterile care pot fi transportate în curent alternativ trifazat, la tensiuni înalte, ajung la valori foarte mari.

În momentul de faţă, pentru producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice se foloseşte aproape în exclusivitate curentul alternativ trifazat. Frecvenţa întrebuinţată la noi, ca şi în majoritatea celorlalte ţări, este de 50 Hz. În unele ţări, cum ar fi spre exemplu S.U.A., se întrebuinţează frecvenţa de 60 Hz. Alte frecvenţe nu sînt întrebuinţate decît în cazuri izolate sau pentru scopuri speciale. În trecut au fost folosite şi alte frecvenţe, cum ar fi cea de 42 Hz, întrebuinţată şi la noi în ţară destul de multă vreme. În unele zone (Timişoara, Arad, Anina) ea a fost folosită pînă prin anii 1952—1962, iar în zona Herculane pînă în anul 1964.

Mai este folosit curentul continuu ?

Curentul continuu, din cauză că nu poate fi transformat simplu şi economic de la o tensiune la alta, nu mai este întrebuinţat pentru producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice decît în cazuri speciale, cu toate că el este încă utilizat în numeroase domenii. Motorul de curent continuu are marele avantaj că turaţia sa poate fi reglată foarte uşor, în mod continuu şi în limite destul de mari. De asemenea, el poate dezvolta un cuplu mare la pornire şi la turaţii reduse, lucru foarte important atunci cînd motorul porneşte cu o sarcină mare, cum este cazul în transporturi. De aceea, la tramvaie, troleibuze, metrou, majoritatea locomotivelor electrice, unele utilaje din fabrici şi ateliere, etc. se întrebuinţează motoare de curent continuu. Se construiesc şi o mulţime de motoare de curent alternativ cu turaţie reglabilă, dar în multe cazuri motorul de curent continuu rămîne de neînlocuit sau prezintă avantaje faţă de acestea.

Curentul continuu este întrebuinţat, de asemenea, pentru alimentarea majorităţii aparatelor de automatizare şi reglaj, aparatelor electronice, proceselor de electroliză şi pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare. Curentul continuu necesar se obţine prin redresarea curentului alternativ, cu ajutorul redresoarelor.

În unele cazuri, el se obţine centralizat, în staţii sau puncte de redresare, de unde este apoi distribuit la consumatori, la

distanţe nu prea mari, printr-o reţea de curent continuu. Spre exemplu, în cazul tramvaielor şi troleibuzelor există în oraşul respectiv una sau mai multe staţii de redresare, care alimentează în diverse puncte reţeaua de curent continuu din care vehiculele iau energia electrică necesară funcţionării. Pentru troleibuze se folosesc două conductoare, iar pentru tramvaie unul singur, cel de al doilea fiind chiar perechea de şine.

În alte cazuri, redresarea curentului alternativ se face pentru fiecare receptor în parte. Acesta este alimentat în curent alternativ şi printr-un redresor cu care este prevăzut se obţine curentul continuu necesar. Spre exemplu, locomotivele electrice folosite în reţeaua noastră feroviară au motoarele de tracţiune de curent continuu. Alimentarea locomotivei se face în curent alternativ monofazat, la înaltă tensiune (27 500V), care este transformat la tensiunea necesară şi redresat în curent continuu cu ajutorul unor transformatoare şi dispozitive de redresare montate chiar în locomotivă. Există însă şi locomotive electrice cu motoarele de tracţiune de curent alternativ. Acestea au unele dezavantaje faţă de cele prevăzute cu motoare de curent continuu, iar construcţia lor este mai dificilă. Pot fi însă construite în aşa fel încît la coborîrea pantelor motoarele să lucreze ca generatoare şi să restituie în reţea o parte din energia electrică consumată la suirea acestora (locomotive electrice cu recuperare de energie). Acelaşi lucru se întîmplă şi la frînarea trenului.

La electrificarea căilor noastre ferate, din cauza unor avantaje pe care le prezintă, au fost preferate locomotivele cu motoare de curent continuu. Şi la locomotivele electrice alimentarea se face printr-un singur conductor, cel de al doilea fiind, ca şi la tramvaie perechea de şine.

Majoritatea aparatelor electronice au incluse în ele dispozitive de redresare pentru obţinerea curentului continuu necesar, ele putînd fi alimentate de la reţea în curent alternativ. Aparatele de curent continuu, care nu sînt prevăzute cu dispozitive proprii de redresare, se pot alimenta de la reţeaua de curent alternativ prin intermediul unor „alimentatoare". Acestea sînt constituite dintr-un transformator, care reduce tensiunea la valoarea necesară funcţionării aparatului, şi dintr-un dispozitiv de redresare a curentului alternativ în curent continuu.

Pentru alimentarea cu curent continuu a dispozitivelor de automatizare, comandă, control şi reglaj, unde se cere o

mare siguranță în funcționare, se folosesc de obicei baterii de acumulatoare care funcționează în paralel cu un redresor alimentat de la rețeaua de curent alternativ. În perioadele de timp în care consumul este redus, redresorul încarcă și bateria de acumulatoare, iar atunci cînd este nevoie de o putere mai mare, o parte va fi preluată din baterie. În cazul în care se întrerupe alimentarea redresorului de la rețeaua de curent alternativ, consumatorii vor putea funcționa în continuare, fiind alimentați din baterie.

Uneori, pentru producerea curentului continuu și alimentarea cu acesta a rețelei unor consumatori, se folosesc generatoare de curent continuu antrenate de motoare electrice de curent alternativ (grupuri convertizoare, numite astfel de la verbul „a converti", deoarece motorul grupului este alimentat cu curent alternativ, iar generatorul debitează mai departe curent continuu, deci se produce o „convertire" a curentului alternativ în curent continuu). Generatoarele pot funcționa în paralel cu baterii de acumulatoare, realizîndu-se în acest fel o siguranță sporită în alimentare. Alteori consumatorii sînt alimentați în permanență din baterie, iar grupul convertizor servește numai la încărcarea periodică a acesteia. Există însă tendința de a se folosi din ce în ce mai puțin grupuri convertizoare ; redresoarele statice (fără piese în mișcare) sînt din ce în ce mai perfecționate, economice, simple și sigure în funcționare.

În ultima vreme, după cum vom vedea mai încolo, curentul continuu a început să fie folosit și la transportul energiei electrice la distanțe mari și la tensiuni înalte, în unele cazuri prezentînd avantaje față de curentul alternativ.

Mijloacele de transport ale energiei electrice

Majoritatea mărfurilor se pot transporta pe calea ferată, cu vaporul, cu avionul sau cu autovehicule. Altele se transportă prin conducte, cum ar fi gazele naturale sau energia termică (aburul, apa caldă).

Într-o rețea de căi ferate, trenurile, încărcate cu mărfuri, circulă pe liniile care fac legătura între diverse stații, unele foarte mari, altele simple halte. În stațiile mai mari se întîlnesc mai multe linii. Trenurile sosesc în stații din anumite direcții și pleacă mai departe, pe alte linii, spre alte stații.

Unele dintre ele sînt descărcate sau încărcate cu mărfuri în stația respectivă, altele vor fi trimise spre stații mai mici, pentru ca mărfurile să poată fi descărcate cît mai aproape de locul unde este nevoie de ele.

Energia electrică, care este și ea o marfă ce trebuie transportată acolo unde este nevoie și distribuită la consumatori, nu poate însă călători cu trenul. Ea va călători prin conductoarele metalice ale *liniilor electrice.*

Locul unde se întîlnesc mai multe linii, unde energia electrică sosește pe unele linii și de unde pleacă mai departe prin altele, unde aceasta este transformată de la o tensiune la alta cu ajutorul transformatoarelor și autotransformatoarelor, unde se află aparatele prin care se stabilește sau se întrerupe circuitul liniilor electrice, unde se găsesc aparatele de măsură, control, automatizare și protecție a circuitelor, este *stația electrică.* Legătura între stații este asigurată prin liniile electrice.

Ansamblul de instalații prin care energia electrică este transmisă de la centralele electrice la consumatori constituie *rețeaua electrică.* Ea servește la transportul, transformarea și distribuția energiei electrice. Rețelele electrice sînt constituite din stații, linii pentru transportul și distribuția energiei electrice și posturi de transformare.

Liniile electrice se împart în două mari categorii : linii electrice aeriene (LEA) și linii electrice subterane în cablu (LES).

Liniile aeriene sînt în general mai avantajoase decît cele în cablu, fiind mult mai ieftine decît acestea (de 2—3 ori), și de aceea au căpătat o mai mare dezvoltare.

Dezavantajele lor principale constau în faptul că sînt supuse acțiunii directe a agenților atmosferici și poluării și în faptul că ocupă spații destul de mari.

Liniile în cablu au o serie de avantaje : siguranță mai mare în exploatare, nu prezintă pericol de atingere directă a părților sub tensiune pentru oameni și animale, nu ocupă spații mari și nu strică aspectul estetic al locurilor pe unde trec, fapt foarte important pentru centrul orașelor. În afara prețului de cost ridicat au însă și dezavantajul că defectele cablurilor sînt mai greu de localizat și de remediat. Liniile în cablu se folosesc numai în cazurile în care construcția liniilor

aeriene prezintă mari inconveniente (în oraşe, pe teritoriul unor întreprinderi, la traversarea unor cursuri de apă) sau la legăturile submarine.

Tensiunile nominale ale liniilor electrice sînt stabilite prin norme. Liniile cu tensiuni sub 1 000 V sînt considerate linii de joasă tensiune iar cele cu tensiuni mai mari, linii de înaltă tensiune.

La noi în ţară tensiunile nominale ale reţelelor electrice sînt: 380 V (220 V tensiunea pe fază) pentru joasă tensiune şi 6, 10, 20, 110, 220 şi 400 kV pentru înaltă tensiune. Se mai întîlnesc încă şi reţele cu alte tensiuni, cum ar fi 5, 15, 30 şi 35 kV, dar acestea sînt puţine şi vor dispărea în curînd, fiind trecute la una din tensiunile de mai sus.

Deoarece domeniul tensiunilor înalte este foarte întins, pentru a delimita mai bine reţelele de diferite tensiuni se consideră reţele de „foarte înaltă tensiune" cele cu tensiuni de 400 kV şi mai mari, reţele de „înaltă tensiune" cele cu tensiuni de 110 şi 220 kV şi reţele de „medie tensiune" cele cu tensiuni mai mici.

Gama tensiunilor folosite în diverse ţări este foarte largă, atît în domeniul tensiunilor medii, cît şi în domeniul tensiunilor înalte, după cum se poate vedea din tabelul de mai jos:

Denumirea ţării	Tensiunile folosite
U.R.S.S.	6 ; 10 ; 20 ; 35 ; 110 ; 220
R.F.G.	6 ; 10 ; 15 ; 20 ; 30 ; 60 ; 110 ; 220
Franţa	5 ; 6 ; 10 ; 15 ; 20 ; 45 ; 66 ; 90 ; 120 ; 150 ; 225
Marea Britanie	3,3 ; 6,6 ; 11 ; 22 ; 33 ; 66 ; 132 ; 275
Suedia	3 ; 6 ; 10 ; 20 ; 40 ; 70 ; 120 ; 130 ; 220
S.U.A.	2,4 ; 4,16 ; 4,8 ; 7,2 ; 7,6 ; 12,5 ; 14,4 34,5 ; 69 ; 138 ; 230

În domeniul tensiunilor foarte înalte în majoritatea ţărilor cu sisteme energetice dezvoltate au fost adoptate tensiunile de 400 (380) kV şi 750 (735, 765) kV.

În unele ţări se folosesc şi alte tensiuni, cum ar fi 330 (345) kV (U.R.S.S., S.U.A.) şi 500 kV (Japonia, U.R.S.S., S.U.A.).

Linii electrice aeriene

Elementele care compun liniile aeriene sînt următoarele:

— conductoarele, prin care circulă curentul electric, asigurînd transmiterea energiei electrice;

— stîlpii (suporţii), care servesc la susţinerea conductoarelor;

— izolatoarele, care servesc la izolarea conductoarelor aflate sub tensiune faţă de stîlpii care le susţin;

— armăturile, care au diferite roluri privind prinderea şi protecţia conductoarelor şi izolatoarelor.

La construcţia liniilor aeriene se folosesc conductoare metalice neizolate. Acestea trebuie să aibă o rezistenţă electrică cît mai mică, pentru a nu avea pierderi mari de energie datorită încălzirii lor, să aibă o rezistenţă mecanică mare, pentru a nu se rupe atunci cînd sînt supuse la eforturi mecanice mari, şi să fie cît mai ieftine.

Metalul cel mai bun conducător de electricitate, cu rezistivitatea electrică cea mai scăzută, este argintul, dar este greu de crezut că s-ar gîndi cineva să construiască o linie electrică cu conductoare din argint. Conductoarele se confecţionează în general din cupru, aluminiu sau aliaje ale acestora cu alte metale. Aluminiul are o rezistivitate electrică mai mare şi o rezistenţă mecanică mai scăzută decît cuprul, dar este mai ieftin şi se găseşte în cantităţi mai mari decît acesta. Cuprul este un material deficitar şi de aceea tendinţa actuală este de a-l înlocui pe cît posibil cu aluminiul. În trecut se folosea aproape în exclusivitate cuprul, dar acum liniile cu conductoare din cupru sînt din ce în ce mai rare.

Conductoarele neizolate pentru liniile aeriene se fabrică în mod obişnuit fie dintr-un singur fir masiv, de secţiune circulară (conductor monofilar), fie din mai multe fire dispuse în straturi concentrice (conductor multifilar). În centrul unui conductor multifilar se află un fir peste care se împleteşte un strat de şase fire, peste acesta un alt strat din douăsprezece fire şi aşa mai departe. Straturile succesive se răsucesc în sens contrar. Datorită aspectului lor se mai numesc şi conductoare funie. Sînt mult mai flexibile decît conductoarele monofilare şi prezintă o siguranţă sporită datorită faptului că ruperea unui singur fir, sau chiar a cîtorva fire, nu conduce la ruperea conductorului.

Conductoarele dintr-un singur fir masiv (monofilare) se folosesc numai la liniile de joasă tensiune şi se construiesc de secţiuni mici. Conductoarele de aluminiu se construiesc numai multifilare. Pentru mărirea rezistenţei mecanice a conductoarelor de aluminiu, necesară în special în cazul liniilor cu tensiuni înalte, unde distanţa dintre stîlpi este mare, au fost create conductoare formate dintr-o inimă din fire de oţel peste care sînt împletite firele din aluminiu. Acestea sînt aşa-zisele conductoare de oţel-aluminiu, în momentul de faţă foarte mult întrebuinţate.

Atunci cînd curenţii sînt foarte mari, cum este şi cazul liniilor de foarte înaltă tensiune, prin care se transportă puteri importante, pentru mărirea capacităţii de transport a liniei se folosesc aşa-numitele conductoare fasciculare sau jumelate, fiecare fază fiind constituită din două, trei sau mai multe conductoare multifilare montate şi menţinute la o anumită distanţă între ele.

La liniile aeriene de joasă tensiune se folosesc uneori şi conductoare izolate. În ultimul timp au început să fie folosite din ce în ce mai mult aşa-numitele conductoare torsadate (mai multe conductoare izolate sînt răsucite împreună şi sînt fixate pe stîlpi fără izolatoare sau sînt fixate pe console prinse de zidul clădirilor, eliminîndu-se în felul acesta izolatoarele şi chiar stîlpii).

Un fenomen interesant dar nedorit : efectul corona

La instalaţiile cu tensiuni ridicate, în preajma colţurilor, muchiilor sau suprafeţelor cu rază mică de curbură ale elementelor metalice aflate sub tensiune, se produce o concentrare foarte puternică a cîmpului electric, ceea ce conduce la apariţia unor descărcări electrice în aer, sub forma unor efluvii luminoase, vizibile bine pe timp de noapte, însoţite de zgomote caracteristice. Fenomenul se petrece şi la liniile electrice aeriene, descărcările producînd un efect luminos ca o coroană în jurul conductoarelor, de unde şi numele său. El este cu atît mai intens cu cît tensiunea este mai ridicată, iar diametrul conductorului mai mic.

Descărcările sînt mult mai puternice atunci cînd în atmosferă umiditatea este mai mare (ploaie, burniţă, ceaţă) decît pe timp uscat.

Folosirea conductoarelor fasciculare (jumelate), la liniile de foarte înaltă tensiune, limitează mult intensitatea fenomenului.

Efectul corona este nedorit în instalaţiile electrice, deoarece prin aceste descărcări se pierde energie. De asemenea, el mai are şi alte consecinţe nedorite, cum ar fi producerea de perturbaţii la posturile de radio şi televiziune din apropiere, influenţa asupra liniilor de telecomunicaţii şi corodarea conductoarelor.

Pentru liniile electrice de foarte înaltă tensiune, pe timp ploios (umed), pierderile datorită efectului corona pot atinge valori mari. La liniile trifazate de 1 050 kV ele ajung pînă la 6 000—16 000 kW pe fiecare sută de kilometri de linie, la liniile de 750 kV pînă la 5 000—12 000 kW/100 km, iar la cele de 400 kV pînă la 2 000—5 000 kW/100 km. De remarcat faptul că pe timp uscat pierderile prin efect corona sînt de 5—6 ori mai mici decît pe timp umed.

Un alt efect perturbator, semnalat la liniile de foarte înaltă tensiune, este zgomotul produs de descărcările locale care se produc în diferite puncte de pe suprafaţa conductorului, cauzate de apariţia unor asperităţi pe suprafaţa acestuia, a unor depuneri de particule solide sau lichide (datorate ploii, burniţei, ceţii) etc. Pe timp umed, zgomotele de la liniile cu tensiuni foarte înalte (750 kV şi mai mari) pot deveni puternice şi deranjante pentru persoanele care se află în apropierea acestora. La 25 m faţă de faza laterală, nivelele de zgomot pot atinge 54—55 decibeli la liniile de 750 kV şi 60—62 decibeli la cele de 1 050 kV. La 15 m faţă de faza laterală, pot atinge 62 decibeli la liniile de 750 kV şi 68 decibeli la cele de 1 050 kV.

Alte fenomene de care trebuie să se ţină seamă în cazul liniilor electrice de foarte înaltă tensiune sînt efectele electrostatice datorate cîmpului electric puternic, care se manifestă asupra persoanelor sau animalelor care staţionează sub linie. Astfel, pot apărea senzaţii de înţepături la contactul dintre piele şi haine sau la contactul cu diferite obiecte, ridicarea părului (sau, cum se mai spune „se face părul măciucă") etc.

La proiectarea liniilor electrice de foarte înaltă tensiune se ţine seama de toate fenomenele datorate cîmpurilor puternice şi se dimensionează conductoarele astfel încît efectele acestora să fie reduse cît mai mult posibil.

Cît sînt de înalţi stîlpii liniilor electrice ?

În ceea ce priveşte stîlpii liniilor aeriene, tensiunea nominală este aceea care determină, în primul rînd, gabaritele acestora care, la rîndul lor, determină într-o oarecare măsură şi materialele din care se construiesc.

Astfel, liniile de foarte înaltă tensiune impun folosirea stîlpilor metalici (de oţel), liniile de înaltă tensiune se construiesc pe stîlpi de beton, metal sau lemn, iar liniile de joasă tensiune pe stîlpi de beton sau lemn. În trecut erau folosiţi numai stîlpi de lemn sau metal, apoi a căpătat o răspîndire din ce în ce mai mare folosirea stîlpilor de beton. Pentru economisirea metalului, tendinţa actuală este de a se folosi cît mai mult stîlpii de beton, stîlpii metalici urmînd să fie folosiţi numai atunci cînd este absolut necesar.

Deoarece lemnul este un material din care se pot realiza alte produse valoroase, la noi nu se mai construiesc linii pe stîlpi de lemn, iar la cele existente aceştia se înlocuiesc, la expirarea termenului lor de folosire, cu stîlpi de beton.

Pentru mărirea rezistenţei mecanice, stîlpii de beton se armează cu sîrme sau bare metalice. O mare răspîndire au căpătat-o stîlpii de beton armat centrifugat, folosiţi şi la construcţia liniilor de înaltă tensiune.

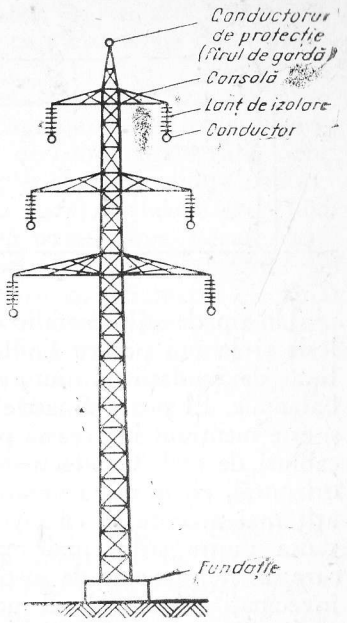
În unele ţări au început să apară în ultima vreme şi stîlpi din mase plastice armate cu fibre de sticlă, atît pentru linii de joasă tensiune, cît şi pentru linii de înaltă tensiune.

Stîlpii se plantează de obicei în fundaţii de beton. Stîlpii de lemn şi de beton, de dimensiuni reduse şi care nu sînt supuşi la eforturi mari, se plantează şi direct în pămînt, într-o groapă în care se pune pietriş, pentru o fixare mai bună şi scurgerea apei.

Pentru a nu putrezi, stîlpii de lemn se impregnează cu anumite substanţe, cum sînt creozotul, gudronul, care distrug microorganismele din lemn.

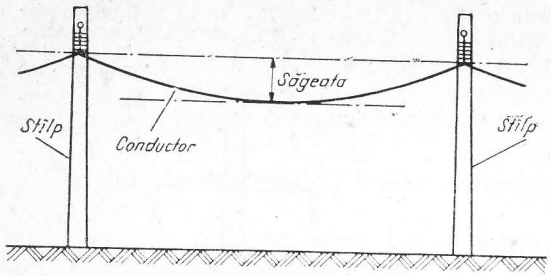
Varietatea constructivă a stîlpilor liniilor electrice este foarte mare. În fig. 4.3. este prezentat un stîlp metalic pentru o linie de înaltă tensiune cu două circuite.

4.3. Stîlp metalic pentru o linie de 110 kV cu două circuite.



Pentru ca liniile electrice să ocupe cît mai puţin spaţiu, se construiesc stîlpi pe care se pot monta două, patru sau chiar mai multe circuite trifazate (linii cu dublu circuit, cu patru circuite etc.). Din punct de vedere electric, fiecare din acestea funcţionează independent, constituie linii separate. Numai suporţii de susţinere a conductoarelor (stîlpi) sînt comuni.

Unii stîlpi sînt construiţi doar pentru a susţine greutatea conductoarelor, izolatoarelor şi armăturilor (stîlpi de susţinere). Alţii sînt construiţi pentru a se realiza întinderea conductoarelor (stîlpi de întindere). La capătul liniei există întotdeauna un stîlp de întindere (stîlp terminal), urmează cîţiva stîlpi de susţinere, apoi din nou un stîlp de întindere şi aşa mai departe. Porţiunea de linie cuprinsă între doi stîlpi de întindere formează un *panou* al liniei electrice, iar aceea dintre doi stîlpi oarecare o *deschidere*. Se mai construiesc şi stîlpi de colţ, care se montează în locurile în care linia îşi schimbă direcţia, şi stîlpi speciali pentru cazuri deosebite (traversări de rîuri, trecerea peste obstacole înalte).



4.4. Săgeata conductorului.

Un tip de stîlp metalic de susţinere interesant este cel folosit şi la noi pentru liniile aeriene de 400 kV. Stîlpul este fixat de fundaţii cu ajutorul unor articulaţii mobile, ca nişte balamale. El poate fi astfel ridicat uşor în poziţie verticală şi este menţinut în această poziţie cu ajutorul unor ancore din cabluri de oţel. Conductoarele liniilor aeriene nu stau întinse orizontal, ci, datorită greutăţii proprii, formează o curbă, cu atît mai accentuată cu cît conductorul este mai greu şi distanţa dintre stîlpi mai mare. Distanţa între linia dreaptă care uneşte punctele de susţinere a conductorului pe doi stîlpi învecinaţi şi punctul cel mai de jos al acestuia, măsurată pe verticală, se numeşte *săgeata conductorului* (fig. 4.4). Stîlpii trebuie să fie suficient de înalţi pentru ca, ţinînd seama şi de săgeată, conductoarele să nu se apropie de pămînt, construcţii etc. la o distanţă care ar putea fi periculoasă. Trebuie avut în vedere că pe timp călduros, din cauza dilatării conductoarelor, acestea se lasă în jos şi săgeata lor creşte.

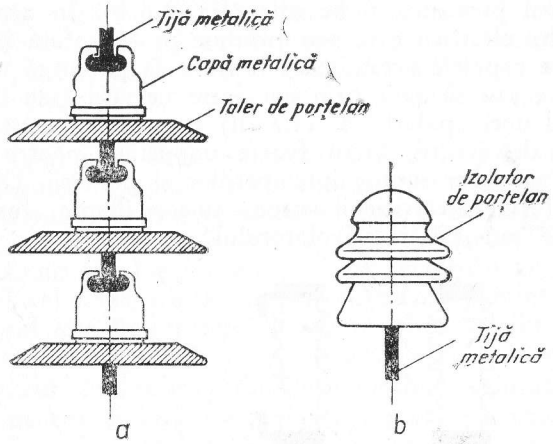
Dimensiunile stîlpilor pentru liniile de foarte înaltă tensiune pot ajunge la valori impresionante. Astfel, un stîlp de susţinere pentru o linie de 400 kV, cu patru circuite trifazate, atinge o înălţime de 65 m, iar lăţimea sa maximă este de 38 m. Un stîlp de susţinere pentru o linie de 750 kV, dar cu un singur circuit trifazat, are o înălţime de 38 m şi o lăţime maximă tot de 38 m, în timp ce pentru o linie de 1 050 kV are o înălţime de 48 m şi o lăţime maximă de 54 m. Stîlpii de întindere au înălţimi şi mai mari.

Stîlpi speciali, folosiţi pentru traversări de rîuri sau obstacole, ating uneori înălţimi foarte mari. În zona Tulcea, pentru traversarea peste Dunăre a unei linii de 400 kV, s-au folosit stîlpi cu înălţimea de 118 m. Pentru traversarea peste Dunăre a liniei de 220 kV care merge în Bulgaria, pe malul românesc a fost amplasat un stîlp care constituie o construcţie unicat, cu o înălţime de 153 m.

Uneori vedem la liniile aeriene stîlpi care par ca nişte pomi de iarnă, cu o mulţime de izolatoare, aşezate atît vertical cît şi orizontal, şi o mulţime de conductoare care merg de la un izolator la altul, parcă împleticindu-se printre acestea. Sînt stîlpi la care se face rotirea fazelor (fazele trec una în locul celeilalte, astfel ca pe întreg traseul liniei fiecare fază să ocupe, pe distanţe pe cît posibil egale, toate poziţiile pe stîlpi). Acest lucru este necesar pentru că parametrii electrici ai liniei (capacitatea între conductorul unei faze şi pămînt, capacitatea între conductoarele a două faze, inductanţa fiecărei faze) sînt influenţaţi de poziţia conductoarelor pe stîlpi şi este de dorit ca ei să fie aceiaşi pe toate trei fazele.

Izolatoarele

Materialul cel mai mult folosit la construcţia izolatoarelor, atît pentru linii cît şi pentru staţii, aparatajul de înaltă tensiune, transformatoare şi autotransformatoare, este porţelanul. În ultimul timp, la construcţia liniilor aeriene se folosesc din ce în ce mai mult şi izolatoare de sticlă, bineînţeles o sticlă cu o compoziţie şi un tratament corespunzător acestui scop.



4.5. Izolatoare pentru liniile aeriene.

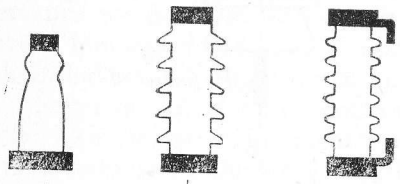
La liniile de foarte înaltă, înaltă şi uneori şi de medie tensiune, se folosesc lanţuri de izolatoare (fig. 4.5. a). Ele au marele avantaj că atunci cînd se deteriorează un izolator, sau chiar mai multe, lanţul poate funcţiona în continuare, asigurînd izolarea şi susţinerea conductorului. De asemenea, se pot înlocui numai izolatoarele deteriorate din lanţ, ceea ce reprezintă un avantaj economic.

La liniile de înaltă şi foarte înaltă tensiune, lanţurile de izolatoare au lungimi mult mai mari decît ni se par atunci cînd le privim de jos: 1,6—2,4 m la liniile de 110 kV, 2,6—3,4 m la liniile de 220 kV, 4,3—5,5 m la liniile de 400 kV şi peste 8 m la liniile de 750 kV. În ceea ce priveşte numărul de izolatoare din lanţ, el este de obicei de 7 la 110 kV, 13 la 220 kV, 23 la 400 kV şi 41 la 750 kV. În zonele poluate se folosesc un număr mai mare de izolatoare în lanţ, iar lungimea lanţurilor creşte în consecinţă.

La liniile de înaltă tensiune se folosesc, uneori, în locul lanţurilor, izolatoare constituite dintr-o singură bucată.

La liniile de joasă tensiune şi la multe linii de medie tensiune se folosesc aşa-zisele izolatoare rigide sau suport (fig. 4,5. b).

Izolatoarele folosite la instalaţiile electrice situate în clădiri, deci ferite de intemperii, au suprafaţa netedă (fig. 4.6. a). Cele folosite la instalaţiile în aer liber, deci şi la liniile aeriene, au pe suprafaţă nişte nervuri sau seamănă cu un teanc de pălării puse una peste alta (fig. 4.6. b). În acest fel, o descărcare electrică care s-ar produse pe suprafaţa izolatorului, între capetele acestuia, ar fi silită să parcurgă un traseu mai lung sau să sară prin aer între nervuri (sau de la un „bor" al unei „pălării" la celălalt), ceea ce îngreunează producerea descărcării, lucru foarte important pentru instalaţiile în aer liber supuse intemperiilor şi poluării. Din cauza acestor forme, electricienii vorbesc uneori despre „fustele izolatorului" sau „pălăriile izolatorului".



a b c

4.6. Izolatoare.

Pentru ca la apariţia unei supratensiuni izolatorul să nu fie străpuns sau să se producă o descărcare sub formă de arc pe suprafaţa sa, la capetele acestuia se montează adesea nişte inele metalice sau nişte armături care au forma unor coarne, de unde şi numele de „coarne de protecţie" (fig. 4.6. c). Arcul electric se formează între cele două inele sau coarne şi astfel izolatorul este protejat.

Nu atingeţi stîlpii, nici firele,
chiar căzute la pămînt !

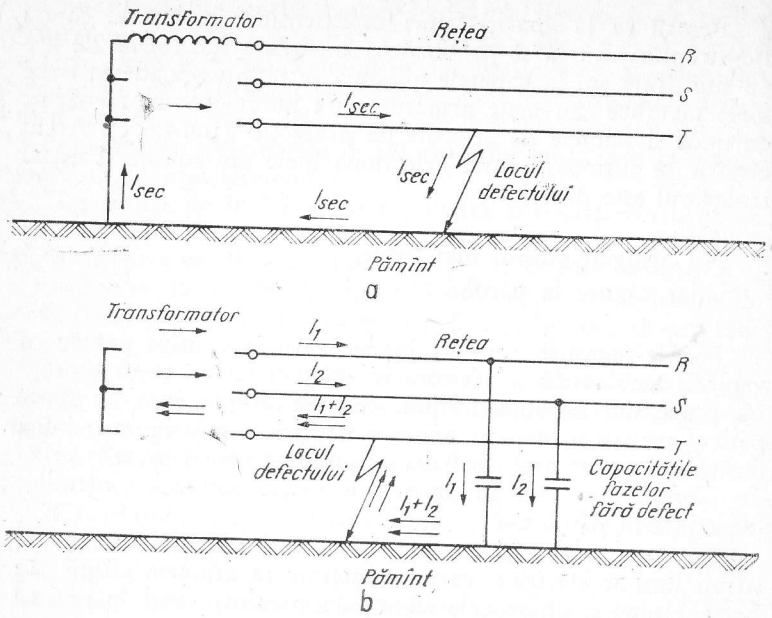
Părţile metalice ale stîlpilor se leagă la pămînt pentru ca venirea accidentală a acestora în contact cu un conductor să nu pună sub tensiune stîlpul, ceea ce ar prezenta un mare pericol pentru oameni şi animale. Pentru a se asigura o bună legătură cu pămîntul, la baza stîlpului se construieşte o *priză de pămînt*, formată în general din ţevi sau plăci metalice îngropate în pămînt.

Cu toate acestea, am văzut cu toţii plăcuţele fixate pe stîlpii liniilor electrice, care ne interzic să atingem stîlpii sau firele electrice, chiar cele căzute la pămînt, fiind în pericol de moarte.

Dacă stîlpul este legat la pămînt, de ce atingerea lui prezintă totuşi un mare pericol ?

Reţelele electrice pot funcţiona fie cu neutrul înfăşurărilor transformatoarelor legat la pămînt, prin intermediul prizelor de pămînt de la staţiile unde sînt amplasate transformatoarele (fig. 4.7. a), fie cu neutrul acestora izolat faţă de pămînt (fig. 4.7. b).

În primul caz, dacă conductorul unei faze a unei linii vine accidental în contact cu pămîntul, direct sau prin intermediul stîlpului cu care conductorul este în atingere, se produce un scurtcircuit între această fază şi pămînt. Curentul de scurtcircuit (I_{scc}) se închide prin conductorul fazei pusă la pămînt, locul unde acesta este în contact cu pămîntul (dacă conductorul este în atingere cu stîlpul, şi prin stîlp şi priza de pămînt a acestuia), pămînt, priza de pămînt la care este legat neutrul înfăşurării transformatorului, legătura de la priză la neutru, şi înfăşurarea fazei respective a transformatorului, care este astfel pusă în scurtcircuit pe această cale. În aceste reţele, orice punere la pămînt a unui conductor al



4.7. Rețea cu neutrul legat la pămînt (a) și rețea cu neutrul izolat (b).

unei faze conduce la un scurtcircuit monofazat, între fază și pămînt, luînd astfel naștere un curent de scurtcircuit, cu o intensitate mare, care va provoca declanșarea liniei cu defect.

În al doilea caz, dacă conductorul unei faze a liniei vine accidental în contact cu pămîntul nu se mai produce un scurtcircuit. Înfășurarea fazei respective a transformatorului nu mai este pusă în scurtcircuit, deoarece nu mai există legătura între pămînt și neutrul transformatorului. Curentul de scurtcircuit nu ar avea pe unde să se închidă, circuitul nefiind continuu ca în primul caz. Nu va apărea un curent de scurtcircuit cu o intensitate mare, care să conducă la declanșarea liniei. Aceasta va rămîne în continuare în funcțiune, cu toate că o fază a sa este pusă la pămînt.

Faza defectă, venind în atingere cu pămîntul, capătă potențialul acestuia. Tensiunea între ea și pămînt devine zero, iar tensiunea între celelalte faze și pămînt crește pînă la valoarea tensiunii între faze (deci crește de 1,73 ori), acestea fiind supratensionate. Supratensionarea celor două faze sănătoase se transmite la toate circuitele (în toată rețeaua) legate galvanic de linia cu defect. Se spune că această rețea funcționează cu punere la pămînt. Tensiunea între faze rămîne însă practic neschimbată și de aceea rețeaua poate funcționa în continuare, alimentînd consumatorii, chiar cu o fază pusă la pămînt.

Cu toate că nu apare un curent de scurtcircuit, prin locul în care conductorul vine în contact cu pămîntul va circula un curent (numit curent de punere la pămînt), care nu are însă o intensitate așa de mare încît să conducă la declanșarea liniei. Curentul electric nu poate însă exista dacă nu există și un circuit închis, prin care acesta să circule. Pe unde se închide, în cazul nostru, acest curent?

Conductoarele liniei, care sînt metalice și dispuse paralel, despărțite între ele prin aer, care este un material dielectric, formează, două cîte două, niște condensatoare. La fel conductorul unei faze și pămîntul formează un condensator, unde una din armături este conductorul, cealaltă pămîntul, iar dielectricul dintre ele îl constituie aerul.

Între conductoarele celorlalte două faze și pămînt existînd niște capacități, circuitul se închide prin acestea. Curentul de punere la pămînt se va închide prin faza cu defect, locul în care aceasta vine în contact cu pămîntul (dacă conductorul este în atingere cu stîlpul, și prin stîlp și priza de pămînt a acestuia), pămînt, capacitățile dintre celelalte faze și pămînt, conductoarele acestora și înfășurarea transformatorului.

La locul unde conductorul atinge pămîntul apare, de multe ori, un arc electric intermitent (care se aprinde și se stinge succesiv), fapt care are efecte foarte neplăcute, putînd conduce la apariția unor supratensiuni în rețea de 3—4 ori mai mari decît tensiunea nominală a acesteia.

De aceea, se iau o serie de măsuri pentru limitarea curenților de punere la pămînt în rețele și pentru reducerea la minim posibil a timpilor de funcționare cu punere la pămînt.

Rețelele de înaltă și foarte înaltă tensiune funcționează cu neutrul legat la pămînt, iar rețelele de medie tensiune funcționează în general cu neutrul izolat.

Rețelele de joasă tensiune, în afara unor cazuri speciale, funcționează cu neutrul legat la pămînt.

Prizele ideale, care să nu opună nici o rezistență la scurgerea curentului electric la pămînt, să aibă, cu alte cuvinte, o

rezistență electrică egală cu zero, nu se pot construi. Însuși pămîntul din jurul țevilor sau plăcilor metalice ale prizei are o rezistență electrică, iar contactul dintre acestea și pămînt nu este perfect. Orice priză de pămînt, oricît de bine ar fi construită, are o rezistență electrică. În momentul în care se deteriorează izolația unui conductor și acesta vine în contact cu stîlpul, curentul de punere la pămînt sau curentul de scurt-circuit se scurge la pămînt prin stîlp și prin priza de pămînt. Aceasta avînd însă o rezistență, la trecerea curentului electric va apare pe priză o cădere de tensiune, egală cu produsul dintre rezistența sa și intensitatea curentului. Stîlpul, legat la pămînt prin intermediul prizei, nu va mai avea potențialul pămîntului, ci între el și acesta va exista o diferență de potențial (o tensiune) egală cu căderea de tensiune pe priză, care poate atinge valori destul de mari (pînă la cîteva mii de volți). Unui om care stă pe pămînt și atinge stîlpul i se aplică această tensiune (numită tensiune de atingere) și poate fi electrocutat mortal.

Ce pericol reprezintă pentru oameni și animale conductoarele căzute la pămînt? De ce nu trebuie să le atingem, ba, ceva mai mult, nici măcar să nu ne apropiem de ele? Dacă conductorul vine în atingere cu pămîntul ar trebui să capete potențialul acestuia și între el și pămînt să nu existe o tensiune periculoasă.

În realitate lucrurile nu stau tocmai așa. Contactul dintre conductor și pămînt nu este niciodată perfect (are o rezistență electrică destul de mare), iar solul din jurul acestuia are și el o rezistență. La trecerea curentului de punere la pămînt apare o cădere de tensiune între conductor și pămînt, la fel ca în cazul trecerii acestuia prin priza de pămînt, fenomen care a fost descris mai înainte. Tensiunea dintre conductor și pămînt poate atinge valori mari și un om sau animal care stă pe pămînt și atinge conductorul va fi electrocutat.

Putem fi electrocutați chiar dacă nu atingem instalația aflată sub tensiune?

Se întîmplă însă și un alt fenomen foarte interesant, dar periculos. Curentul de punere la pămînt se împrăștie radial în solul din jurul locului de atingere a conductorului cu pămîntul. Între oricare punct de pe suprafața solului și locul

de atingere are loc o cădere de tensiune, datorită circulației curentului prin rezistența electrică a solului dintre acest punct și locul de contact al conductorului cu pămîntul. Căderea de tensiune va fi cu atît mai mare cu cît distanța între punctul respectiv și locul de atingere este mai mare. Astfel, dacă la o distanță suficient de mare de locul de atingere potențialul unui punct de pe suprafața solului este practic egal cu zero, pe măsură ce ne apropiem de conductorul căzut la pămînt potențialul unui punct de pe suprafața solului are valori din ce în ce mai mari, putînd ajunge la locul de contact la cîteva mii de volți. Spre exemplu, dacă la locul de atingere potențialul solului este de 4 000 de volți, la 1 m de acesta de 3 200 V, la 2 m de 2 500 V, la 3 m de 1 800 V, la 4 m de 1 200 V, la 5 m de 900 V, la 6 m de 700 V și așa mai departe, pentru ca la 15—20 m să fie practic egal cu zero, între un punct situat la 3 m și altul situat la 5 m va exista o diferență de potențial (o tensiune) de $1\,800 - 900 = 900$ V. Dacă un om s-ar apropia de conductorul căzut la pămînt cu pași de 1 m și la un moment dat un picior al său s-ar afla la 6 m de locul de atingere, iar celălalt picior la 5 m, între piciorul său drept și cel stîng diferența de potențial (tensiunea) ar fi de $900 - 700 = 200$ V. La următorul pas va fi de 300 V, la următorul de 600 V, crescînd pe măsura apropierii de conductorul căzut la pămînt. La un moment dat, izolația pe care o oferă încălțămintea va fi străpunsă și omul va fi electrocutat. Cu cît pașii pe care îi face vor fi mai mici cu atît și tensiunea la care este supus va fi mai mică. De aceea, un om care a fost surprins de căderea la pămînt a unui conductor în apropierea sa, nu trebuie să se îndepărteze de acesta alergînd cu pași mari, ci cu pași foarte, foarte mici, sau prin sărituri scurte (pentru a nu se dezechilibra), cu amîndouă picioarele odată, pe aceeași linie.

Tensiunea care apare între puncte situate la distanțe diferite față de locul de atingere al conductorului cu pămîntul a fost numită *tensiune de pas*. Și în jurul prizelor de pămînt apare tensiunea de pas, fenomenul fiind asemănător.

Apropierea oamenilor sau animalelor de instalațiile electrice, la distanțe mai mici decît cele prevăzute pentru fiecare tensiune, este extrem de periculoasă pentru viața acestora. De ce păsările se pot însă așeza pe conductoarele aflate sub tensiune ale liniilor electrice, chiar ale celor cu tensiuni foarte ridicate, fără să pățească nimic? Pentru ca un om sau un ani-

mal să fie electrocutat, prin corpul său trebuie să treacă un curent electric. Dacă el stă pe pămînt, pe stîlp sau pe orice obiect care nu este perfect izolat față de pămînt și atinge un conductor sau o parte metalică aflată sub tensiune a unui aparat electric, asupra sa se aplică tensiunea dintre conductorul respectiv și pămînt (diferența între potențialul la care se află conductorul și potențialul pămîntului). Prin corpul său va trece un curent electric care poate avea efecte mortale. Dacă omul sau animalul, care vine în contact cu un conductor aflat sub tensiune, este perfect izolat față de pămînt și de alte obiecte aflate la un potențial diferit de al conductorului, corpul său capătă în întregime potențialul acestuia și asupra sa nu se mai aplică o diferență de potențial (o tensiune electrică). Astfel, se pot efectua lucrări la conductoarele liniilor electrice aeriene de înaltă și foarte înaltă tensiune, cu linia în funcțiune, dacă lucrătorul se află la potențialul conductorului și este perfect izolat față de pămînt și de celelalte obiecte aflate la un potențial diferit față de potențialul conductorului la care lucrează.

Electrocutarea se produce chiar dacă omul sau animalul este perfect izolat față de pămînt, dar atinge simultan conductoarele a două faze diferite sau conductorul unei faze și conductorul de nul, asupra sa acționînd tensiunea dintre acestea. În acest fel se electrocutează uneori și păsările care se așează pe conductoarele liniilor electrice sau zboară printre acestea.

Cîteodată, în momentul în care două păsări (așezate una lîngă alta pe conductoarele a două faze învecinate) își desfac simultan aripile pentru a-și lua zborul, acestea se ating între ele și amîndouă păsările sînt electrocutate, provocînd în același timp și un scurtcircuit între cele două faze ale liniei.

La instalațiile de înaltă tensiune oamenii sau animalele pot fi electrocutați chiar dacă nu ating părțile aflate sub tensiune, dar se apropie de acestea la distanțe mai mici decît cele admise. Dacă două conductoare aflate sub tensiune se apropie din ce în ce unul de celălalt, la un moment dat aerul, care constituie un izolant între ele, va fi străpuns și se va produce o descărcare electrică sub formă de arc între acestea. Distanța la care se întîmplă acest lucru se numește *distanța de amorsare a arcului electric* și depinde în primul rînd de tensiunea dintre cele două conductoare și de starea aerului (umiditate, poluare etc.). Același lucru se întîmplă și la apropierea unui corp aflat în legătură cu pămîntul de un conductor aflat sub tensiune. Zona din jurul conductoarelor în care se produce amorsarea arcului electric între acestea și un obiect aflat în legătură cu pămîntul constituie *zona de amorsare a arcului electric*. Ea este cu atît mai mare cu cît tensiunea între conductor și pămînt este mai mare. Uneori se pot produce scurtcircuite între conductoarele liniilor electrice aeriene, mai ales cînd sînt încărcate cu chiciură, dacă vîntul suflă foarte puternic și produce o balansare a acestora, care le poate apropia la un moment dat la distanța de amorsare a arcului electric. Alteori se produc scurtcircuite între conductoarele liniilor electrice și pămînt din cauza trecerii pe sub acestea cu vehicule sau obiecte înalte care intră în zona de amorsare a arcului electric.

Dacă un om sau un animal se apropie prea mult de o parte a unei instalații electrice, aflată sub tensiune, se va amorsa o descărcare electrică între aceasta și corpul său și el va fi electrocutat. Pentru a nu fi în pericol de electrocutare, distanțele minime la care un om se poate apropia de părțile aflate sub tensiune ale instalațiilor electrice sau de elementele izolatoare ale acestora, sînt următoarele:

— 0,7 m pentru instalații cu tensiuni de 1 kV pînă la 10 kV;
— 0,8 m pentru instalații cu tensiuni de 15 și 20 kV;
— 0,9 m pentru instalații cu tensiuni de 35 kV;
— 1,5 m pentru instalații cu tensiuni de 110 kV;
— 2,4 m pentru instalații cu tensiuni de 220 kV;
— 3,7 m pentru instalații cu tensiuni de 400 kV.

Este însă mult mai sigur să stăm la distanțe mai mari decît acestea de instalațiile electrice aflate sub tensiune.

Inamicii liniilor electrice aeriene

Unul din dușmanii mari ai liniilor aeriene sînt descărcările atmosferice. Chiar dacă linia nu este trăsnită direct, un trăsnet căzut în apropierea acesteia poate induce în conductoare o tensiune mult mai mare decît tensiunea nominală a liniei (lovitură de trăsnet indirectă). Această supratensiune se propagă de-a lungul liniei și poate conduce la conturnarea izolatoarelor (descărcare electrică de la conductor la stîlp, sub formă de arc electric pe suprafața izolatorului, care îl poate deteriora) sau la străpungerea acestora (descărcarea electrică străpunge materialul izolant, izolatorul este distrus). Amplitu-

dinea supratensiunilor induse în conductoarele liniilor electrice de loviturile de trăsnet din apropiere poate ajunge la valori de 400—500 kV.

La lovituri de trăsnet produse la distanța de un kilometru de linie au fost înregistrate amplitudini ale tensiunilor induse de pînă la 200 kV. Cu cît tensiunea nominală a liniei este mai mare cu atît efectul loviturilor de trăsnet din apropierea acesteia este mai mic, linia avînd izolatoare capabile să reziste la tensiuni mari.

Loviturile de trăsnet directe în stîlpi sau conductoarele liniei sînt foarte periculoase pentru acestea, chiar și pentru liniile de înaltă și foarte înaltă tensiune care au o izolație foarte bună. În afară de deteriorarea izolatoarelor ele pot avea ca efecte ruperea conductoarelor sau deteriorarea stîlpilor loviți.

Pentru a fi protejate împotriva loviturilor de trăsnet, liniile aeriene de foarte înaltă, înaltă și în unele cazuri și cele de medie tensiune, sînt prevăzute cu unul sau două conductoare din funie de oțel, fixate de vîrful stîlpilor și legate la prizele de pămînt ale acestora, numite conductoare de protecție sau fire de gardă.

Conductoarele de protecție fiind situate deasupra conductoarelor active ale liniilor, constituie un paratrăsnet care le protejează contra loviturilor directe de trăsnet. Ele reduc într-o oarecare măsură (prin efectul de ecranare) și supratensiunile induse în conductoare de către loviturile de trăsnet din apropierea liniei.

Un fenomen interesant are loc atunci cînd este lovit de trăsnet conductorul de gardă în apropierea unui stîlp sau chiar stîlpul. Valorile cele mai frecvente ale curenților trăsnetelor sînt mai mici de 50 000 A. Curenții de trăsnet cu valori de 60 000—80 000 A sînt rari, iar cei cu valori de peste 100 000 A sînt foarte rari. Curentul de trăsnet, care are valori de ordinul zecilor de mii de amperi, scurgîndu-se la pămînt prin stîlp și priza de pămînt dă naștere unei căderi de tensiune foarte mare pe priză, iar stîlpul capătă un potențial foarte ridicat față de pămînt. În cazul liniilor cu tensiuni nominale nu prea ridicate, conductoarele active ale liniei sînt la un potențial mult mai mic decît stîlpul și între stîlp și conductor apare o diferență de potențial (o tensiune) care poate avea o valoare foarte mare și poate conduce la conturnarea izolatoarelor, de data aceasta de la stîlp la conductor (conturnare inversă).

Deoarece păsările au obiceiul de a se așeza pe izolatoarele liniilor aeriene și de a le murdări, lucru care favorizează conturnarea acestora, în zonele în care ele sînt numeroase se montează în dreptul izolatoarelor niște tije metalice care împiedică așezarea lor (dispozitiv antipasăre). La noi în țară păsările care provoacă cele mai multe scurtcircuite la liniile aeriene de medie tensiune sînt ciorile și berzele. Acestea din urmă, din cauza deschiderii mari a aripilor, pot provoca scurtcircuite și la unele linii de înaltă tensiune.

Pe timp de iarnă liniile aeriene mai au un inamic redutabil: depunerile de chiciură sau de polei pe conductoare și chiar pe stîlpi. Poleiul, care se depune pe conductor sub forma unui strat de gheață neted și compact, este chiar mai periculos decît chiciura, avînd o densitate mai mare. Chiciura și poleiul încarcă conductoarele cu o greutate suplimentară care poate ajunge la valori apreciabile. Săgeata acestora crește foarte mult și dacă depunerile continuă conductoarele se rup.

În zonele de munte s-au semnalat depuneri de chiciură care au atins diametrul de un metru. Dacă depunerile de chiciură sînt însoțite și de vînt puternic, linia este în mare pericol. Se pot rupe conductoarele și chiar stîlpii, se pot îndoi stîlpii metalici și pot fi răsturnați cei care nu au fundații foarte rezistente. Pericolul este mai mare în zonele de munte, unde depunerile sînt mai frecvente și mai intense, iar vîntul poate atinge viteze mari. De obicei, cînd se vorbește despre depuneri de chiciură pe conductoare și stîlpi, dacă nu se face altă precizare, se înțeleg atît depunerile de chiciură cît și cele de polei.

Linia aeriană de 6 kV, construită pe platoul munților Bucegi pentru alimentarea cu energie electrică a cabanelor și altor obiective din zonă, a fost complet distrusă în anul 1957, din cauza viscolului și a depunerilor de chiciură care au atins un diametru de 60 cm. Ea a fost înlocuită ulterior cu o linie subterană în cablu. În 1956, în luna septembrie, la o linie de 110 kV din zona Paroșeni au fost rupte conductoarele și 10 stîlpi, din cauza depunerilor de chiciură (care au ajuns la un diametru de 30 cm) și a viscolului. În anul 1967 au fost avariate grav foarte multe linii aeriene din Bărăgan, datorită viscolului puternic și chiciurei. În anul 1973, la o linie aeriană de 110 kV cu dublu circuit din zona Buzău au fost rupte conductoarele și patru stîlpi de beton, din cauza vîntului puternic însoțit de depuneri de chiciură. Un viscol

puternic a rupt în anul 1975 liniile de 110 kV care alimentau zona Tulcea. În noiembrie 1981, viscolul însoţit de depuneri abundente de zăpadă (ulterior de chiciură) care aderă pe conductoarele liniilor aeriene, în estul Munteniei, Dobrogea şi Moldova, a provocat scurtcircuite şi ruperi de conductoare care au determinat ieşirea din funcţiune, pe perioade de la cîteva minute la cîteva zile, a 6 linii de 400 kV, 8 linii de 220 kV, 86 linii de 110 kV şi 379 linii de medie tensiune. De liniile de joasă tensiune nici nu mai vorbim.

Pentru a împiedica depunerea chiciurei pe liniile aeriene de transport a energiei electrice, atunci cînd sînt condiţii prielnice formării acesteia, se caută ca prin modificarea configuraţiei reţelei liniile expuse să funcţioneze cu o sarcină cît mai mare. În acest fel, curentul care circulă prin conductoare fiind mare provoacă o încălzire mai puternică a acestora şi împiedică depunerea chiciurei (încălzirea preventivă a liniei).

Pentru a topi însă chiciura care s-a depus pe conductoarele liniilor în straturi care pot deveni periculoase, se procedează la aşa-zisa deschiciurare a acestora. Linia care trebuie deschiciurată se scoate din funcţiune, se montează la un capăt al ei un dispozitiv care scurtcircuitează cele trei faze ale liniei (le leagă între ele) şi se alimentează linia de la celălalt capăt cu o tensiune calculată astfel încît prin conductoare să circule un curent de scurtcircuit suficient de mare pentru a provoca încălzirea acestora şi topirea chiciurei, dar care să nu provoace deteriorarea conductoarelor şi în special a clemelor folosite la înnădirea acestora.

Vînturile deosebit de puternice pot provoca însă avarierea liniilor aeriene nu numai pe timp de iarnă, cînd pe acestea se depune de obicei chiciură, polei sau zăpadă care aderă la conductoare şi îngheaţă pe acestea, ci chiar în anotimpurile călduroase. Am auzit cu toţii despre cicloanele tropicale şi uraganele devastatoare care provoacă mari pagube şi reţelelor electrice aeriene. Cu toate că în ţara noastră nu sînt cicloane tropicale, taifunuri sau uragane devastatoare, au fost şi la noi avarii ale liniilor aeriene cauzate de vînt şi în alte sezoane decît cel de iarnă. Acestea au fost însă mult mai rare decît cele provocate de viscole şi chiciură.

În luna iunie 1979, la un vînt foarte puternic care s-a desfăşurat pe o porţiune îngustă de la Craiova către Rîmnicu Vîlcea, au fost avariate 3 linii de 400 kV, 2 linii de 220 kV

şi 2 linii de 110 kV, precum şi alte linii cu tensiuni mai mici. Au fost rupţi 18 stîlpi de 400 kV, 12 stîlpi de 220 kV, 21 de stîlpi de 110 kV.

În luna iunie 1982, un vînt cu o viteză care a depăşit pe alocuri 200 km/oră a provocat într-o zonă restrînsă, la nord de Timişoara, avarierea a 3 linii de 220 kV, 11 linii de 110 kV şi a o mulţime de linii de medie şi joasă tensiune, măturînd tot ce i-a ieşit în cale. Au fost, astfel, rupţi 55 stîlpi de 220 kV, 117 stîlpi de 110 kV şi 529 stîlpi de medie tensiune.

Avarierea liniilor aeriene mai poate fi provocată şi de alunecările de teren, care se produc în special în urma unor ploi torenţiale, de inundaţii sau de incendii care au loc în apropierea acestora.

Şi pomii (arborii) care cresc sub linii sau în apropierea acestora pot provoca deranjamente în funcţionarea reţelelor electrice. Ei pot fi doborîţi de vînt peste linii sau crengile lor pot intra în zona de amorsare a arcului electric. De aceea, este necesar ca periodic să se execute tăierea crengilor sau chiar a pomilor care, crescînd, pot prezenta un pericol pentru funcţionarea liniei.

Poluarea atmosferică poate constitui, de asemenea, o sursă de avarii. Izolatoarele pe care s-au depus anumite substanţe, sub formă de praf, fulgi, picături etc., murdărindu-le, sînt conturnate mult mai uşor decît izolatoarele curate. Dacă murdărirea izolatoarelor este însoţită şi de o umiditate ridicată (ceaţă, burniţă), pe suprafaţa lor au loc descărcări electrice, care se pot intensifica pînă cînd se transformă în arc electric şi izolatorul este conturnat, producîndu-se un scurtcircuit.

Descărcările care au loc pe suprafaţa izolatoarelor sînt vizibile foarte bine pe timp de noapte. Uneori, la instalaţiile cu tensiuni înalte şi izolatoare cu lungimi mari, în cazul în care descărcările sînt intense, spectacolul este impresionant. Izolatoarele parcă sînt cuprinse de zeci de şerpi de foc, care aleargă pe suprafaţa acestora, apar, dispar, se lungesc şi se scurtează cu repeziciune, strălucesc intens şi apoi se sting, pentru ca imediat să apară alţii.

Nu toate descărcările care se produc pe suprafaţa izolatoarelor conduc la conturnarea acestora. Descărcările intermitente, de culoare albastru-violaceu, nu constituie un pericol (descărcări de gradul 1). Cele intermitente, de culoare gal-

ben închis, sau cele de scurtă durată, roşietice, nu prezintă un pericol imediat, instalaţia mai poate funcţiona un timp (descărcări de gradul 2). În schimb, descărcările continue, de culoare galben deschis spre alb, care cuprind zone mari ale izolatorului, sînt foarte periculoase, putîndu-se transforma în orice moment în arc electric (descărcări de gradul 3).

Prin reducerea tensiunii, intensitatea descărcărilor se micşorează şi se poate evita astfel, în foarte multe cazuri, conturnarea izolatoarelor. De aceea, atunci cînd se observă descărcări de gradul 2 sau 3 se iau măsuri pentru reducerea tensiunii de funcţionare a instalaţiilor afectate. Astfel, reducerea tensiunii într-o instalaţie de 110 kV (care funcţionează în mod normal cu tensiuni de 112—120 kV) pînă la valoarea de 105 kV înlătură pericolul în cele mai multe cazuri.

Din păcate şi unele persoane, care nu îşi dau seama de pericolul la care se expun şi de urmările pe care le pot avea anumite acţiuni ale lor, pot provoca avarieri de linii aeriene.

Astfel, au fost produse scurtcircuite şi deteriorări ale stîlpilor, izolatoarelor şi conductoarelor de către copii şi chiar adulţi care s-au urcat pe stîlpi pînă în apropierea conductoarelor şi au fost electrocutaţi, de persoane care au trecut pe sub linii de înaltă tensiune cu vehicule sau obiecte înalte care au intrat în zona de amorsare a arcului electric, de persoane care au lucrat în apropierea acestora cu automacarale al căror braţ a intrat din neatenţie în zona de amorsare a arcului electric, de către conducători auto şi tractorişti care au intrat cu vehiculul în stîlpi, de către cei care au tăiat copaci aflaţi în apropierea unei linii electrice prăvălindu-i peste aceasta, de către copii care au spart izolatoare cu pietre, de către inconştienţi care au aruncat sîrme peste conductoare sau au aprins focuri la baza stîlpilor sau sub conductoare, de către piloţi care au zburat cu avionul sau elicopterul la o înălţime prea mică şi au lovit sau agăţat conductoarele, şi chiar de către paraşutişti care au căzut pe linie.

Uneori observăm pe conductoarele de protecţie ale unor linii aeriene înalte nişte cutii sau aripioare metalice, vopsite în mai multe culori, care sînt vizibile de la mare distanţă. Ele se montează la liniile înalte din apropierea aerodromurilor tocmai pentru ca piloţii să vadă firul de gardă, care este cel mai subţire şi mai sus situat, de la distanţe mari.

Pînă şi unii vînători nepricepuţi pot dăuna liniilor aeriene. Au fost cazuri cînd aceştia, trăgînd după păsările aflate

pe linie sau care zburau între ei şi linie, au împuşcat odată cu pasărea, sau în locul acesteia, izolatoarele sau conductoarele.

Linii electrice subterane

Liniile electrice subterane (în cablu) au mai puţini „inamici". Dintre aceştia doar alunecările de teren şi cei care fac săpături la întîmplare, lovind cablurile sau luîndu-le în cupa escavatoarelor, sînt mai redutabili.

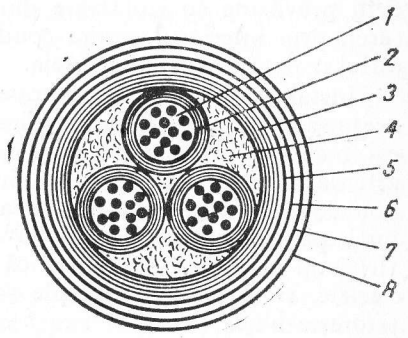
Elementele componente ale liniilor subterane sînt cablurile şi cutiile (manşoanele, mufele) de înnădire, de derivaţie şi de la capetele acestora (cutii terminale).

După tensiunea pentru care sînt construite, cablurile pot fi de joasă, medie, înaltă şi foarte înaltă tensiune.

După numărul de conductoare, care sînt din cupru sau aluminiu, ele pot fi cu un singur conductor şi cu două, trei, patru sau mai multe. Pentru medie tensiune, cele mai răspîndite sînt cablurile trifazate, cu trei conductoare situate în aceeaşi manta. Pentru liniile de înaltă şi foarte înaltă tensiune se folosesc trei cabluri cu un singur conductor.

După izolaţia de bază a conductoarelor, cablurile sînt de mai multe tipuri. Cele mai răspîndite sînt cablurile cu izolaţie din hîrtie impregnată, din mase plastice şi din cauciuc. În ultima vreme masele plastice sînt foarte mult folosite, atît pentru izolarea conductoarelor, cît şi pentru protecţia exterioară a cablurilor.

În fig. 4.8. este reprezentată o secţiune printr-un cablu trifazat cu izolaţie de hîrtie. Fiecare conductor (1) este aco-



4.8. Secţiune printr-un cablu de 6 kV, cu izolaţie de hîrtie.

perit cu un strat de hîrtie îmbibată cu ulei (2) cele trei conductoare sînt înfăşurate împreună cu un strat de hîrtie impregnată (3), care reprezintă un strat izolant comun, iar golurile dintre acestea (4) sînt umplute cu sfoară de hîrtie, sau iută impregnată cu ulei. Urmează apoi un înveliş etanş de plumb (5), numit mantaua de plumb, care are rolul de a proteja conductoarele şi izolaţia împotriva umezelii. Peste aceasta se înfăşoară un strat de iută astfaltată (6), o bandă de oţel (7) şi apoi alt strat de iută asfaltată (8), care au rolul de a proteja cablul contra loviturilor şi agenţilor chimici. Pentru tensiuni mai mari de 20 kV, unde cîmpurile electrice din jurul conductoarelor sînt mai puternice, se construiesc cabluri care au mantale separate de plumb pentru fiecare fază. La tensiuni înalte şi foarte înalte se folosesc cabluri cu un singur conductor, care are forma unui tub neetanş, prin interiorul căruia se introduce ulei care îmbibă izolaţia şi răceşte conductorul. Se mai folosesc cabluri la care conductorul izolat este montat într-o conductă de oţel închisă ermetic, în care se introduce un gaz inert sub presiune.

Cablurile cu izolaţie de cauciuc sînt folosite la joasă tensiune şi foarte rar la 3 şi 6 kV. Cablurile cele mai răspîndite în ultima vreme, atît la joasa tensiune cît şi la medie tensiune, sînt însă cele cu izolaţie din mase plastice.

Cutiile (terminale, de înnădire sau de derivaţie) sînt constituite din cutii metalice închise ermetic şi au rostul de a proteja cablurile împotriva umezelii şi loviturilor, în punctele de înnădire şi de capăt. În aceste cutii se toarnă o masă izolantă, de culoare neagră sau galbenă, care asigură o bună protecţie contra umezelii şi o izolaţie suplimentară.

La înaltă tensiune, la capetele cablurilor se utilizează cutii prevăzute cu izolatoare din porţelan (izolatoare de trecere), prin interiorul cărora conductoarele ies din cutie, fiind astfel izolate de corpul acesteia.

Instalarea cablurilor pe traseul ales constituie „pozarea" acestora. Pozarea cablurilor direct în pămînt este procedeul cel mai des întîlnit. Se sapă un şanţ pe fundul căruia se aşterne un strat de nisip, se pozează cablul, se toarnă un nou strat de nisip, peste acesta se aşază un rînd de cărămizi pentru protecţia împotriva loviturilor de lopată sau tîrnăcop şi pentru a se şti că acolo este pozat un cablu electric, şi în sfîrşit se umple şanţul cu pămînt care se bătătoreşte bine.

Spre deosebire de liniile aeriene, unde căldura degajată de conductoare se disipează uşor, acestea fiind răcite de aerul înconjurător, disiparea căldurii degajată de cabluri se face mult mai greu. La pozarea mai multor cabluri în acelaşi şanţ, acestea nu se aşează unul lîngă altul sau unul peste altul, ci trebuie păstrate anumite distanţe între ele.

La trecerea pe sub şosele, căi ferate sau în locuri în care este necesară o protecţie sporită a cablurilor, acestea se pozează în tuburi de beton cu una sau mai multe găuri.

Dacă numărul cablurilor care trebuie pozate alături este mare, se folosesc uneori tunele speciale, în interiorul cărora cablurile se aşează pe suporţi montaţi pe pereţii acestora.

În locurile în care se execută trecerea de la o linie subterană la o linie aeriană, cablul se introduce într-o ţeavă de protecţie din oţel, fixată pe stîlp.

Reanclanşarea automată rapidă a liniilor electrice

În cazul producerii unui scurtcircuit într-o linie electrică, indiferent dacă este subterană sau aeriană, aceasta trebuie să fie deconectată imediat de la toate capetele sale legate la reţeaua aflată sub tensiune. Curenţii de scurtcircuit, avînd valori mult mai mari decît curenţii normali de sarcină care circulă prin conductoarele liniei, dacă nu sînt întrerupţi imediat provoacă încălzirea foarte puternică a conductoarelor şi deteriorarea acestora. De asemenea, ei solicită foarte mult aparatajul electric montat în staţii sau pe traseul liniei, atît din punct de vedere al încălzirii acestuia (solicitări termice), cît şi din punct de vedere al forţelor care apar între elementele parcurse de curent ale aparatului respectiv. Ştim că două conductoare paralele parcurse de curent se atrag sau se resping, după cum curenţii în acestea sînt de acelaşi sens sau de sens contrar, cu o forţă a cărei valoare depinde de distanţa dintre ele şi de intensitatea celor doi curenţi. Şi între părţile parcurse de curenţi ale aparatelor electrice apar aceste forţe de atracţie sau de respingere, care solicită aparatul din punct de vedere mecanic (solicitări dinamice). În cazul curenţilor de scurtcircuit, care au valori foarte mari, aparatajul este supus unor solicitări dinamice intense.

Pentru a se evita efectele foarte periculoase ale curenţilor cu intensităţi mari care apar în cazul scurtcircuitelor,

circuitul în care s-a produs acesta trebuie întrerupt imediat, restul instalațiilor urmînd să funcționeze în continuare normal.

La liniile electrice aeriene o bună parte din scurtcircuite nu provoacă defecte care să se mențină și după ce linia a declanșat (defectul nu reapare la repunerea sub tensiune a liniei). Spre exemplu, dacă se produce o conturnare a unui izolator, după ce linia a fost întreruptă și a dispărut, tensiunea arcul electric se stinge și în majoritatea cazurilor izolatorul nu este deteriorat. Linia va putea fi repusă în funcțiune. În cazul unor scurtcircuite produse de păsări, de crengi purtat de vînt peste conductoarele liniei, de atingerile dintre conductoare sau dintre acestea și stîlpi (provocate de vînturi puternice etc., după declanșarea liniei izolația se restabilește și linia va putea fi repusă sub tensiune. În aceste cazuri avem de-a face cu un defect trecător. Dacă se produc însă defecte care nu dispar odată cu declanșarea liniei, ele menținîndu-se în continuare (distrugeri de izolatoare, ruperi de conductoare sau stîlpi etc.) linia nu mai poate fi repusă în funcțiune. În aceste cazuri avem de-a face cu un defect permanent.

Cea mai mare parte din defectele care provoacă declanșarea liniilor aeriene sînt defecte trecătoare. Din această cauză ele se prevăd de obicei cu dispozitive automate care, în cazul declanșării liniei în urma unui scurtcircuit, comandă reanclanșarea acesteia după trecerea unui interval de timp de cîteva secunde sau fracțiuni de secundă (dispozitiv de reanclanșare automată rapidă, prescurtat RAR). Dacă în acest interval de timp defectul s-a eliminat, linia va rămîne în funcțiune. Reanclanșarea automată rapidă a acesteia a fost reușită (RAR reușit). Dacă defectul nu a dispărut, linia va fi declanșată din nou. Reanclanșarea automată rapidă a acesteia a fost, în acest caz, nereușită (RAR nereușit).

În cazul rețelelor de înaltă și foarte înaltă tensiune, care funcționează cu neutrul transformatoarelor și autotransformatoarelor legat la pămînt, o punere la pămînt a conductorului unei faze înseamnă un scurtcircuit monofazat între acestea și pămînt. Dispozitivele automate care protejează linia contra curenților de scurtcircuit sînt astfel concepute încît, în acest caz, selectează și comandă declanșarea numai a fazei cu defect, celelalte două faze ale liniei rămînînd în continuare conectate. Dispozitivul RAR comandă reanclanșarea fazei declanșate și numai dacă defectul nu a dispărut linia va declanșa pe toate trei fazele. În acest fel, în cazul defectelor trecătoare pe o singură fază, circuitul liniei nu va fi întrerupt și pe celelalte două faze, păstrîndu-se legătura între stațiile respective prin acestea.

La liniile aeriene, reanclanșările automate rapide sînt reușite în proporție de 50 pînă la 90%, aceasta depinzînd de tensiunea liniei și felul cum este construită.

Dacă reanclanșarea automată rapidă nu a reușit (a fost RAR nereușit, cum spun electricienii) și linia a rămas declanșată, pentru a avea siguranța că defectul nu s-a eliminat între timp, de obicei, după o pauză de un minut, linia se repune sub tensiune de către personalul din stație. În cazul în care declanșează din nou se consideră că defectul este permanent și se vor lua măsuri pentru depistarea și remedierea acestuia.

La liniile în cablu procentul defectelor trecătoare, din totalul defectelor care se produc în acestea, este mult mai mic decît la liniile aeriene. Cu toate acestea, dispozitivele RAR, care la început erau prevăzute numai la liniile aeriene, au început să fie utilizate în ultimul timp din ce în ce mai mult și la liniile în cablu.

Cum pot fi găsite defectele care se produc în rețeaua electrică ?

O problemă deosebită pe care o ridică liniile subterane este localizarea defectelor care se produc în cabluri sau în manșoanele de înnădire ale acestora. Spre deosebire de liniile aeriene, ale căror elemente sînt vizibile, la liniile subterane sînt necesare săpături pentru dezgroparea cablului, depistarea defectului și remedierea acestuia. Locul defectului trebuie stabilit cu cea mai mare precizie, lucru care se efectuează prin măsurători electrice, cu ajutorul unor aparate și metode speciale, de către personal calificat pentru acest gen de operații. Planurile cu traseul exact al cablurilor, lungimea și secțiunea acestora, distanțele la care sînt pozate față de anumite repere, locurile în care sînt manșoanele de înnădire etc. sînt ținute la zi, fără ele fiind imposibilă localizarea defectelor într-o rețea complexă de cabluri. În general, depistarea și remedierea defectelor la liniile în cablu durează mai

mult decît la liniile aeriene, ceea ce constituie un dezavantaj al acestora.

Dacă la liniile în cablu depistarea locului defect se poate face prin măsurători de precizie, cum se face acest lucru la liniile aeriene? Pentru liniile de foarte înaltă tensiune şi pentru multe din cele de înaltă tensiune există montate în staţiile de la capetele acestora nişte aparate numite locatoare de defecte, care indică cu aproximaţie distanţa la care este defectul faţă de staţie. Pentru a găsi defectul se face controlul vizual al liniei, controlîndu-se în primul rînd zona indicată de locatoarele de defecte. La liniile de medie şi joasă tensiune depistarea defectelor se face controlîndu-se vizual linia.

Multe din liniile de distribuţie au prevăzute în unele puncte ale traseului nişte aparate numite *separatoare,* cu ajutorul cărora circuitul liniei poate fi secţionat (întrerupt vizibil) în acel punct. Cînd separatorul este închis, circuitul liniei este continuu. Cînd separatorul este deschis, circuitul liniei este întrerupt în acel punct. În cazul unui defect permanent, se secţionează linia într-un punct, de obicei la primul separator pornind de la staţia de alimentare a liniei, şi se repune sub tensiune din staţie porţiunea de linie dintre aceasta şi punctul unde a fost secţionată. Dacă linia nu declanşează înseamnă că această porţiune nu este defectă. Se deconectează linia de la staţie, se închide separatorul prin care linia a fost secţionată şi se deschide următorul separator, secţionîndu-se acum linia în acest punct. Se repune linia sub tensiune de la staţie şi dacă aceasta declanşează înseamnă că defectul este pe porţiunea dintre cele două separatoare (separatorul care s-a deschis şi separatorul care s-a închis). Dacă nu declanşează înseamnă că şi această porţiune de linie este fără defect şi se va proceda în continuare ca mai sus, punînd sub tensiune pe rînd noi porţiuni din linie, pînă cînd se găseşte porţiunea cu defect, care va fi controlată vizual pentru localizarea acestuia. În acest fel se depistează mai uşor defectele, iar anumite porţiuni din linie pot fi repuse în funcţiune pentru alimentarea consumatorilor racordaţi la acestea.

De un mare ajutor la depistarea defectelor sînt persoanele care observînd anumite defecte la liniile electrice (conductoare rupte, stîlpi răsturnaţi, producerea arcului electric în linie etc.) anunţă întreprinderea de specialitate.

Controlul liniilor aeriene se face, în general, parcurgînd traseul acesteia pe jos. De obicei se face simultan de mai multe echipe, fiecăreia revenindu-i cîte o porţiune din linie. Iarna se folosesc şi schiurile. Pe timp de noapte se folosesc proiectoare alimentate de la baterii de acumulatoare, sau lanterne puternice. În cazul în care sînt drumuri paralele cu linia se pot parcurge anumite porţiuni din traseu cu un autovehicul, oprindu-se la fiecare stîlp pentru controlul amănunţit al izolatoarelor şi legăturilor. În anumite situaţii au fost folosite pentru controlul unor linii importante elicoptere sau chiar avioane. Au fost cazuri, în timpul unor ierni grele, cu viscole şi zăpadă troienită, cînd nu s-a putut pătrunde pe traseul unor linii decît cu tancurile sau cu vehicule cu şenile, speciale pentru mersul pe zăpadă. În timpul inundaţiilor au fost cazuri în care controlul unor linii a trebuit să fie făcut din barcă.

La liniile aeriene localizarea defectelor prin efectuarea unor măsurători electrice este foarte greoaie şi nu dă rezultate precise. De cele mai multe ori, după declanşarea liniei şi stingerea arcului electric, la locul scurtcircuitului se restabileşte o izolaţie între elementele (conductoare, conductor şi pămînt) între care s-a produs acesta, izolaţie care are o rezistenţă ce falsifică măsurătorile.

La liniile în cablu, pentru ca măsurătorile să fie exacte, de multe ori trebuie distrus stratul izolant care se formează, după declanşarea cablului şi răcirea sa, între conductoarele între care s-a produs scurtcircuitul. Aceasta se realizează prin alimentarea cablului cu o tensiune continuă care este mărită progresiv pînă cînd stratul izolant format la locul defectului este străpuns. Se spune că se „arde" locul defect.

Comportarea „ciudată" a liniilor lungi de curent alternativ

Transportul energiei electrice în curent alternativ la distanţe foarte mari ridică o serie de probleme a căror soluţionare este dificilă.

Se ştie că între conductoarele liniei şi între acestea şi pămînt se formează nişte capacităţi. Cum orice capacitate căreia i se aplică o tensiune alternativă produce o putere reactivă şi liniile electrice de curent alternativ produc putere reactivă. Aceasta este cu atît mai mare cu cît linia este mai

lungă și tensiunea mai ridicată. La liniile de medie tensiune ea este neglijabilă, iar la liniile de înaltă tensiune are valori destul de mici. La liniile de foarte înaltă tensiune, cu lungimi mari, ajunge însă la valori apreciabile. Astfel, dacă o linie trifazată de 220 kV, cu un singur circuit, produce în jur de 13 MVAr pe fiecare sută de kilometri, o linie de 400 kV produce în jur de 50—55 MVAr, iar o linie de 750 kV în jur de 230—260 MVAr. Două linii de 400 kV, cu o lungime de 300 km fiecare, produc o putere reactivă de 300—330 MVAr, cam cît produce în mod obișnuit o centrală ca Porțile de Fier. Dacă ne gîndim că o linie de 750 kV, cu o lungime de 500 km, produce în jur de 1 200—1 300 MVAr, ne dăm seama ce sursă importantă de putere reactivă constituie liniile de foarte înaltă tensiune.

La liniile de foarte înaltă tensiune cu lungimi mari apar din această cauză unele fenomene neplăcute. Dacă linia este sub tensiune dintr-un singur capăt, la celălalt fiind deconectată (linia funcționează în gol), puterea reactivă produsă de-a lungul liniei va circula spre stația în care linia este conectată, dînd naștere unei ridicări a tensiunii la capătul liber. Tensiunea la capătul unde linia este deconectată (capătul în gol) va fi mai mare decît la capătul unde linia este conectată, putînd ajunge la valori foarte mari, periculoase pentru echipamente. De asemenea, din cauza puterii reactive pe care linia o debitează în stația în care este conectată, tensiunea va crește mult și în aceasta, putînd ajunge la valori periculoase pentru aparatajul din stație.

Și la funcționarea în sarcină linia produce putere reactivă, fapt care poate conduce, în anumite situații, la creșterea tensiunii pe linie și în stațiile de la capetele acesteia. Fenomenul este mai puțin periculos deoarece o parte din puterea reactivă produsă este consumată chiar în inductanța liniei, prin care circulă curentul de sarcină, iar linia nu mai are nici un capăt în gol. Pentru absorbirea puterii reactive produse de liniile lungi de foarte înaltă tensiune se folosesc niște bobine foarte mari, consumatoare de putere reactivă, care au un miez magnetic și sînt montate în cuve metalice pline cu ulei, la fel ca transformatoarele (bobine de compensare, numite astfel deoarece cu ajutorul lor se compensează capacitățile liniilor). Unele dintre acestea sînt legate direct la liniile de foarte înaltă tensiune cu lungimi mari, iar altele sînt montate în stații și pot fi puse sau scoase din funcțiune după necesități. Se construiesc bobine de compensare cu puteri de la cîteva zeci la cîteva sute de MVAr.

În liniile de curent alternativ foarte lungi se produc însă și fenomene legate de prezența cîmpurilor electromagnetice oscilante. Lungimea de undă a fenomenelor electromagnetice armonice care se propagă în lungul liniilor cu o viteză practic egală cu cea a luminii este, pentru liniile aeriene, de 6 000 km la frecvența de 50 Hz. În liniile a căror lungime se apropie de lungimea unui sfert de undă (1 500 km), unei jumătăți de undă (3 000 km) sau de lungimea undelor electromagnetice (6 000 km), se produc o serie de fenomene care fac dificilă exploatarea liniei sau pot avea consecințe foarte grave dacă nu se iau anumite măsuri, care conduc însă la scumpirea instalațiilor. Cum nu se pune problema construirii unor linii cu lungimi care să se apropie de 5 000—6 000 km, dar este necesară uneori transportarea energiei electrice la distanțe de 1 000—2 000 km, pentru evitarea inconvenientelor liniilor foarte lungi de curent alternativ se folosește din ce în ce mai mult transportul acesteia la distanțe foarte mari în curent continuu. Liniile de curent continuu mai au și avantajul, după cum vom vedea mai încolo, că pot realiza legături între sisteme care funcționează cu frecvențe diferite.

În centrul de producere, tensiunea energiei electrice este ridicată la valoarea necesară de către transformatoare și apoi curentul alternativ este transformat în curent continuu cu ajutorul unor redresoare de construcție specială. În centrul de consum, curentul continuu este transformat în curent alternativ (trifazat) cu ajutorul unor aparate numite invertoare, după care tensiunea este redusă la valoarea dorită, de către transformatoare. Se realizează astfel transportul energiei electrice la mare distanță printr-o linie de curent continuu, de foarte înaltă tensiune, în care nu se mai produc fenomenele legate de curentul alternativ.

La liniile electrice în cablu, lungimea de undă are valori mai mici decît la liniile aeriene (aproape jumătate), datorită vitezei mai reduse de propagare a undelor electromagnetice prin materialele dielectrice care constituie izolația acestora. Fenomenele neplăcute apar la liniile în cablu la lungimi mai mici decît la liniile aeriene.

Realizări deosebite în transportul energiei electrice

Realizările obținute în ultimii zeci de ani în domeniul transportului energiei electrice sînt remarcabile. Linii de 400 (380 kV) de curent alternativ trifazat au fost construite în mai toate țările cu energetică avansată. Au fost însă construite și linii cu tensiuni mai mari. Printre altele, în U.R.S.S., S.U.A. și Japonia sînt în funcțiune linii de 500 kV, iar în U.R.S.S., Canada, S.U.A., Ungaria, linii de 750 kV. În U.R.S.S., S.U.A., Franța, Italia, Canada, au fost construite și linii de 1 100 (1 050, 1 150) kV, deocamdată însă de lungimi reduse, pentru scopuri experimentale. În U.R.S.S., sînt în construcție linii de 1 150 kV, care vor realiza legătura între marile noduri energetice din Siberia, precum și între acestea și zona europeană a U.R.S.S.

Cu ajutorul liniilor de 400—750 kV se pot transporta cantități masive de energie de la centrele de producție la centrele de consum, se pot realiza transferuri de putere din zonele excedentare în zonele deficitare, iar cu un număr redus de linii se poate realiza interconectarea între sistemele energetice atît pe plan regional, cît și pe plan internațional.

Dacă pe o linie de 110 kV, cu un singur circuit, se pot transporta puteri de pînă la 80—100 MW, pe o linie de 400 kV se pot transporta puteri de pînă la 800—1000 MW pe o linie de 750 kV de pînă la 2 000—2 500 MW, iar pe o linie de 1 150 kV pînă la 5 000—5 500 MW.

La noi în țară, pentru transportul energiei electrice se folosesc în prezent linii de 400, 220 și 110 kV. Dispunem de o rețea complexă de linii și stații de 400 și 220 kV, în continuă dezvoltare. Într-un viitor apropiat se vor pune în funcțiune și la noi o stație și două linii de 750 kV, prin care se vor întări legăturile între sistemele energetice ale U.R.S.S., Bulgariei și țării noastre. Pentru studierea comportării acestor linii, la Institutul Politehnic din București a fost construită o linie de 750 kV în lungime de 300 m.

Pentru a se economisi spațiul, au fost construite linii aeriene de 400 kV cu două și chiar patru circuite.

În privința liniilor electrice în cablu se fabrică în mod curent cabluri cu tensiuni pînă la 220 kV. Se execută cabluri de construcție specială și pentru tensiuni mai mari.

Pentru a putea fi încărcate la sarcini mari, în condițiile grele de evacuare a căldurii din conductoare prin izolație, mantalele protectoare și pămînt, în afară de construcțiile speciale cu răcire forțată prin circulație de ulei sau alte fluide în interiorul cablului, s-au realizat și instalații de răcire cu apă prin conducte montate de-a lungul cablurilor în exteriorul acestora. Toate aceste soluții sînt însă foarte costisitoare.

Prin folosirea supraconductibilității metalelor (în vecinătatea temperaturii de zero absolut, rezistivitatea electrică a unor metale devine foarte mică, tinzînd spre zero) se pot realiza cabluri de înaltă tensiune care să permită transportul unor puteri foarte mari, cu pierderi mici și la tensiuni nu prea ridicate. Dacă o putere de 2 500 MVA poate fi transportată printr-un cablu de 400 kV cu izolație de hexaflorură de sulf, aceeași putere va putea fi transportată, în aceleași condiții, printr-un cablu cu conductoare supraconductibile cu o tensiune de numai 120 kV. Sînt însă necesare instalații criogenice care să mențină temperatura conductoarelor în apropiere de zero absolut.

Din motive tehnice și economice transportul energiei electrice în curent continuu este deocamdată mult mai puțin utilizat decît transportul în curent alternativ, recurgîndu-se la această soluție numai în anumite cazuri. Astfel, au fost realizate prin linii de curent continuu în cablu legăturile subacvatice importante, cum ar fi: Franța — Marea Britanie (200 kV), Suedia — Danemarca (250 kV), Suedia — Insula Gotland (150 kV) etc.

De asemenea au fost realizate legături la distanțe mari prin linii de curent continuu aeriene în U.R.S.S., (800 kV), S.U.A., (800 kV), Canada (900 kV), Marea Britanie (532 kV), Noua Zeelandă (500 kV), etc. În U.R.S.S., se construiește o linie de curent continuu de 1 000 kV.

De obicei, pentru liniile electrice de curent continuu se indică tensiunea între fiecare conductor și pămînt sub forma $\pm X$ kV. Astfel, dacă se indică tensiunea nominală a unei linii ca fiind de ± 400 kV, aceasta înseamnă că avem de-a face cu o linie de curent continuu, cu o tensiune între conductoare de 800 kV, tensiunea între un conductor și pămînt fiind $+400$ kV, iar între celălalt conductor și pămînt fiind -400 kV.

Un popas într-o staţie electrică

În cursul călătoriei noastre de la centrală pînă la consumator, trecem prin multe staţii electrice. Să zăbovim puţin şi să vizităm cîteva dintre ele. Vom vedea că în unele aparatajul electric este instalat în aer liber, într-o incintă împrejmuită cu garduri înalte, care au sîrmă ghimpată în partea de sus, pentru a împiedica pătrunderea în staţie a celor ce nu îşi dau seama de pericolul de moarte care îi pîndeşte odată intraţi.

Acestea sînt aşa zisele *staţii exterioare.* În altele aparatajul este montat în interiorul unei clădiri, ferit de ploaie, vînt, zăpezi şi praf. Acestea sînt aşa-zisele *staţii interioare.* În mod obişnuit, staţiile interioare se construiesc pentru tensiuni pînă la 35 kV. În anumite cazuri se construiesc şi pentru tensiuni mai mari, în special atunci cînd mediul conţine substanţe nocive pentru instalaţii, cum ar fi praful de cărbune, praful de ciment, anumite substanţe chimice etc., sau staţia se află în centrul unui oraş. Staţiile exterioare sînt recomandabile pentru tensiuni de la 35 kV în sus. Se construiesc uneori şi staţii exterioare cu tensiuni de 6—20 kV, de putere redusă.

Vom observa şi la staţiile exterioare, cu excepţia celor mici, cîte o clădire, în care se găseşte camera de comandă a staţiei, se montează aparatele de măsură, control şi automatizare, se instalează bateriile de acumulatoare, etc.

Majoritatea staţiilor au însă mai multe tensiuni. În acest caz, instalaţiile cu tensiuni peste 35 kV se montează de obicei în exterior, iar cele cu tensiuni mai mici în clădire.

Staţiile care servesc numai pentru realizarea legăturilor între diverse linii (circuite) electrice sînt aşa-numitele *staţii de conexiuni.* Toate liniile racordate la o asemenea staţie sînt de aceeaşi tensiune.

Staţiile care servesc la transformarea energiei electrice de la o tensiune la altă tensiune, în ele fiind montate transformatoare, se numesc *staţii de transformare.* Liniile racordate la o staţie de transformare sînt cel puţin de două tensiuni diferite.

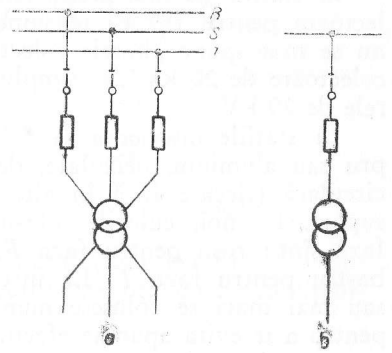
În majoritatea staţiilor electrice se realizează însă atît conexiunile între diverse circuite, cît şi transformarea curentului de la o tensiune la alta (staţii de conexiuni şi transformatoare).

Avînd autorizaţia necesară şi fiind instruiţi asupra modului cum trebuie să ne comportăm într-o instalaţie electrică, însoţiţi de şeful staţiei, să intrăm într-o staţie de înaltă tensiune şi să o vizităm pe îndelete. Şeful staţiei şi personalul de serviciu ne vor da toate explicaţiile necesare privind modul de funcţionare al elementelor din care este compusă staţia. Înainte însă de a începe vizita ne vor atrage din nou atenţia asupra pericolului pe care îl reprezintă apropierea, la distanţe mai mici decît cele prevăzute, de echipamentele aflate sub tensiune şi ne vor instrui încă o dată asupra modului cum trebuie să ne comportăm în timpul vizitei. Vom primi şi o cască de protecţie. Vom mai zăbovi puţin pentru a ne fi prezentată schema staţiei.

Schema de conexiuni electrice sau schema electrică se numeşte desenul pe care sînt trecute, reprezentate convenţional, elementele instalaţiei electrice şi legăturile dintre acestea, în ordinea în care aceste legături sînt executate în realitate. Se deosebesc două feluri principale de scheme :

— schemele electrice ale *circuitelor primare* (principale), pe care se reprezintă circuitele principale ale instalaţiei (circuitele prin care trece energia electrică în drumul său de la centrală la consumator). În aceste scheme sînt trecute toate aparatele şi maşinile principale ale instalaţiei respective şi legăturile dintre ele ;

— schemele electrice ale *circuitelor secundare,* pe care se reprezintă aparatele şi instrumentele din circuitele auxiliare (de măsură, control, comandă, semnalizare, automatizare



4.9. Schema trifilară şi schema monofilară a unei instalaţii

etc.), legăturile dintre ele, precum şi legăturile acestora cu aparatajul primar. Pe aceste scheme se trec numai acele elemente ale circuitelor primare fără de care înţelegerea schemelor circuitelor secundare nu ar fi posibilă.

Schemele electrice ale instalaţiilor trifazate pot fi *trifilare* sau *monofilare*. Pe schemele trifilare sînt reprezentate toate cele trei faze ale instalaţiei. Aceste scheme nu sînt prea mult răspîndite şi se folosesc de obicei numai pentru reprezentarea unor porţiuni din instalaţii. Pe schemele monofilare sînt trecute numai legăturile pentru o fază a instalaţiei. Aceasta este posibil deoarece în instalaţiile de curent trifazat toate cele trei faze au aceleaşi legături. În cazul în care există un fir neutru (conductor de nul), acesta se reprezintă în schemă separat (prin linie punctată), întrucît legăturile la firul neutru se deosebesc de cele ale conductoarelor de fază. Schemele monofilare sînt mult mai simple şi uşor de urmărit. Pentru comparaţie, în fig. 4.9. a este prezentată schema trifilară a unei instalaţii electrice trifazate, iar în fig. 4.10. b schema monofilară a aceleiaşi instalaţii.

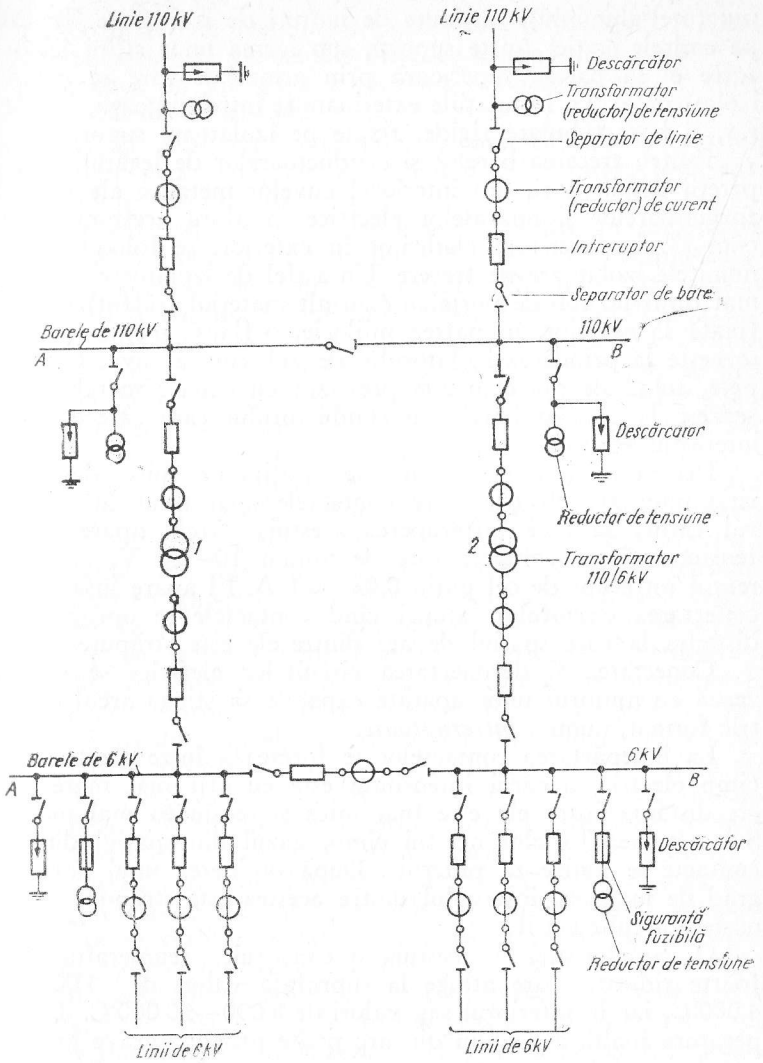
Cînd vizităm o staţie ni se va arăta, pentru a înţelege din ce elemente principale se compune aceasta şi modul în care sînt legate între ele, schema monofilară a circuitelor primare.

În fig. 4.10. este prezentată schema monofilară a unei staţii electrice foarte simple. Să vedem care este rostul fiecăruia dintre elementele principale din care este compusă staţia.

Legătura între diferite circuite, la aceeaşi tensiune, se realizează prin intermediul *barelor colectoare* ale staţiei.

În staţiile cu mai multe tensiuni sînt, de obicei, bare colectoare pentru fiecare tensiune. De cele mai multe ori nici nu se mai spune „barele colectoare de 110 kV“ sau „barele colectoare de 20 kV“, ci simplu „barele de 110 kV“ sau „barele de 20 kV“.

În staţiile interioare se folosesc, de obicei, bare de cupru sau aluminiu, neizolate, de secţiune dreptunghiulară sau circulară (fiecare fază în altă culoare), fixate pe izolatoare suport. La noi, culorile folosite pentru marcarea celor trei faze sînt: roşu pentru faza *R*, galben pentru faza *S* şi albastru pentru faza *T*. La instalaţiile cu tensiuni de 35 kV sau mai mari se folosesc numai bare de sectiune circulară, pentru a se evita apariţia efectului corona.



4.10. Schema monofilară a unei staţii electrice simple.

Pentru barele colectoare ale instalaţiilor exterioare se folosesc, de obicei, conductoare multifilare de cupru sau alumi-

niu (oţel-aluminiu), susţinute de lanţuri de izolatoare, fixate pe cadrele staţiei (nişte suporţi, sub forma unor stîlpi legaţi între ei la partea superioară prin grinzi de care se prind izolatoarele). La instalaţiile exterioare se întrebuinţează, foarte rar, şi bare tubulare rigide, fixate pe izolatoare suport.

Pentru trecerea barelor şi conductoarelor de legătură prin pereţii despărţitori, din interiorul cuvelor metalice ale transformatoarelor şi aparatelor electrice în afara acestora, precum şi din interiorul clădirilor în exterior, se folosesc aşa-numitele izolatoare de trecere. Un astfel de izolator este format dintr-un tub de porţelan (sau alt material izolant) avînd fixată la exterior, în partea mijlocie, o flanşă metalică care serveşte la prinderea izolatorului de zid sau de cuvă. La capete, tubul de porţelan este prevăzut cu capace metalice ce servesc la fixarea barei sau conductorului care trece prin interiorul acestuia.

Deconectarea unui circuit este însoţită de obicei de apariţia unui arc electric între contactele aparatului cu ajutorul căruia se face întreruperea acestuia. Arcul apare dacă tensiunea între contacte este de minim 10—20 V, iar curentul întrerupt de cel puţin 0,08—0,1 A. El apare însă şi la conectarea circuitului, atunci cînd contactele se apropie la distanţa la care spaţiul de aer dintre ele este străpuns.

Conectarea şi deconectarea circuitelor electrice se realizează cu ajutorul unor aparate capabile să stingă arcul electric format, numite *întreruptoare*.

La îndepărtarea contactelor se formează între acestea un cîmp electric, a cărui intensitate este cu atît mai mare cu cît distanţa între ele este mai mică şi tensiunea mai mare. Sub acţiunea forţelor acestui cîmp, gazul din spaţiul dintre contacte se ionizează puternic. După obţinerea unui anumit grad de ionizare, intervalul dintre acestea este străpuns şi ia naştere arcul electric.

O caracteristică a acestuia o constituie temperatura sa foarte ridicată, care atinge la suprafaţă valori de 3 000—4 000°C, iar în interiorul său valori de 8 000—10 000°C. Temperatura înaltă a gazului din arc poate provoca grave avarii instalaţiilor, dacă extinderea acestuia nu este limitată în mod corespunzător şi nu este stins suficient de rapid. De exemplu, chiar o atingere de scurtă durată a unui arc electric puternic de suprafaţa unui izolator de porţelan poate distruge izolatorul, datorită puternicei încălziri locale. Suprafaţa

multor materiale izolante organice este carbonizată în contact cu arcul, iar elementele metalice se topesc uşor şi se evaporă, dacă un arc electric puternic se menţine pe ele chiar cîteva zecimi de secundă.

Cu cît tensiunea circuitului este mai ridicată şi curentul întrerupt mai mare, cu atît arcul electric format este mai puternic şi mai greu de stins.

La circuitele de joasă tensiune şi curenţi nu prea mari, stingerea arcului se face de obicei în aer, prin simpla îndepărtare a contactelor unul de celălalt. Distanţa între acestea crescînd şi tensiunea fiind mică, cîmpul electric slăbeşte, arcul se întinde şi se subţiază, ionizarea se reduce, şi arcul se stinge. Am observat cu toţii aşa-zisele »flame" care se produc la întreruperea unui circuit în sarcină. Acestea nu sînt altceva decît mici arce electrice care se sting imediat în aer. Odată cu creşterea tensiunii şi intensităţii curentului întrerupt, pe contacte apare un arc atît de puternic încît stingerea lui în aer devine imposibilă. În special întreruperea curenţilor de scurtcircuit, care au intensităţi foarte mari, ridică probleme deosebite, chiar şi la circuitele de joasă tensiune. Accelerarea stingerii şi limitarea dimensiunilor arcului care ia naştere la întreruperea circuitelor de înaltă tensiune se realizează cu ajutorul unor dispozitive speciale de stingere a arcului, cu care sînt înzestrate întreruptoarele moderne. Se construiesc întreruptoare bazate pe diverse metode de stingere a arcului. Astfel, la întreruptoarele cu ulei mult contactele sînt cufundate într-o cuvă cu ulei. Acesta serveşte atît pentru stingerea arcului, cît şi pentru izolarea părţilor conducătoare de curent. Arcul electric care apare între contacte produce o evaporare şi o descompunere intensă a uleiului. În jurul contactelor se formează rapid o pungă de gaze fierbinţi. Presiunea în cuvă creşte la 6—10 atmosfere. Stingerea arcului se realizează datorită lungirii acestuia prin îndepărtarea contactelor, răcirii arcului şi a gazelor în contact cu uleiul, creşterii presiunii în cuvă şi spălării continue a contactelor cu ulei proaspăt. Întreruptoarele cu ulei mult, mai perfecţionate, sînt prevăzute cu camere de stingere a arcului electric. Arderea acestuia are loc într-o cameră de dimensiuni reduse în care presiunea creşte pînă la 60—100 atmosfere, în timp ce presiunea în cuvă este de numai 2—3 atmosfere. Camerele de stingere sînt prevăzute cu mai multe compartimente şi deschideri, astfel încît presiunea care se for-

mează produce o circulație intensă a gazelor și uleiului prin acestea, realizîndu-se un suflaj puternic al arcului și stingerea sa.

Întreruptoarele cu ulei puțin folosesc camere de stingere bazate pe aceleași principii de funcționare, dar ele nu mai sînt cufundate în cuve cu ulei, ci sînt montate pe izolatoare de porțelan. La acestea uleiul nu mai are și rol de lichid izolant, ci îndeplinește doar funcția de stingere a arcului.

Întreruptoarele cu aer comprimat realizează stingerea arcului electric prin suflarea acestuia cu un jet de aer. Întreruptoarele cu ulei mult se folosesc atît la medie, cît și la înaltă tensiune. Ele sînt însă grele și au dimensiuni de gabarit mari. Astfel, greutatea celor trei faze ale unui întreruptor de 110 kV ajunge la 30 t, iar a uleiului la 12 t. Greutatea totală a unui întreruptor de 220 kV atinge 100 t, iar a uleiului 50 t. În schimb, greutatea totală a unui întreruptor cu ulei puțin de 400 kV, fabricat la noi în țară, este de numai 18 t, iar cantitatea de ulei în jur de 2 200 litri. Înălțimea acestui întreruptor este însă de aproape 9 m (fig. 4.11.).

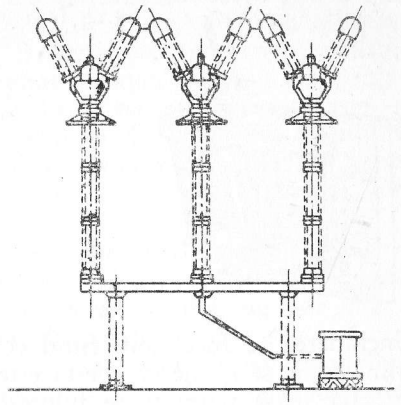
Ce distanță este între aceste întreruptoare gigant și micuțele întreruptoare de joasă tensiune pe care le folosim cu toții pentru aprinderea sau stingerea luminii electrice.

În momentul de față, datorită continuei lor perfecționări și avantajelor pe care le au, întreruptoarele cu ulei puțin sînt cele mai întrebuințate. Se construiesc atît pentru medie, cît și pentru înaltă și foarte înaltă tensiune. Pe măsura perfecționării acestora, întreruptoarele cu ulei mult, care în trecut au cunoscut o mare răspîndire, au început să fie din ce în ce mai puțin folosite. Datorită cantității mari de ulei, explozia unui astfel de întreruptor poate avea consecințe dezastroase.

Întreruptoarele cu aer comprimat, care prezintă caracteristici foarte bune de stingere a arcului, au însă dezavantajul că necesită un consum mare de aer comprimat. Acesta trebuie produs de o instalație specială de compresoare și distribuit în toată stația printr-o rețea de conducte. Ieșirea din funcțiune, pe o durată mai mare de timp, a instalației de aer comprimat, poate conduce la imposibilitatea acționării întreruptoarelor. Ele se construiesc pentru tensiuni înalte și foarte înalte, iar pentru medie tensiune de la 10 kV în sus.

Se cunosc și întreruptoarele, construite în special în trecut, care nu folosesc uleiul sau aerul comprimat pentru stingerea arcului. Ele nu se folosesc însă la tensiuni ridicate.

4.11. Întreruptor cu ulei puțin de 400 kV.

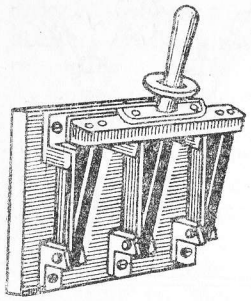


Astfel sînt întreruptoarele cu apă, care se aseamănă cu întreruptoarele cu ulei puțin, dar în locul uleiului folosesc pentru stingerea arcului apă. Mai sînt întreruptoare la care, pentru stingerea arcului, se utilizează gazele generate de pereții unor camere de stingere construite din materiale organice care se descompun sub acțiunea temperaturii înalte a arcului electric. La întreruptoarele electromagnetice stingerea arcului se produce în deschiderile înguste ale unei camere de stingere, construită din plăci dintr-un material izolant rezistent la temperaturi înalte. Arcul este împins în cameră cu ajutorul unor bobine care creează un cîmp magnetic puternic.

La joasă tensiune, cele mai întrebuințate sînt întreruptoarele în ulei și întreruptoarele în aer. La acestea din urmă stingerea arcului se realizează în camere de stingere din materiale organice, în care arcul este împins sub acțiunea forțelor electrodinamice sau sub acțiunea unui cîmp magnetic dat de o bobină.

Toate aceste întreruptoare sînt capabile să rupă atît curenții de sarcină, cît și curenții de scurtcircuit cu intensități mari. Ele sînt prevăzute cu dispozitive de automatizare care la apariția curentului de scurtcircuit comandă declanșarea întreruptorului. Se realizează astfel protecția circuitelor contra efectelor distrugătoare ale curenților de scurtcircuit.

Dacă întreruptorul se deschide sau se închide automat, în urma acționării dispozitivelor de automatizare, se spune că acesta *declanșează* sau *anclanșează*. Dacă însă deschiderea sau



4.12. Întreruptor de joasă tensiune cu pîrghie.

închiderea se face voit, fiind comandată de către personalul din stație, se spune că acesta este *deconectat* sau *conectat*.

La joasă tensiune se folosesc și întreruptoare cu pîrghie (numite în trecut hebluri), la care stingerea arcului se face în aer, prin îndepărtarea contactelor (fig. 4.12). Cele construite pentru ruperea unor curenți mari au prevăzute dispozitive pentru realizarea unei îndepărtări rapide a contactelor. Acestea pot întrerupe și curenți de ordinul a 1 000 A și chiar mai mult. Ele nu sînt însă întreruptoare automate și nu sînt construite pentru a rupe curenți de scurtcircuit. Sînt folosite numai pentru închiderea sau deschiderea în sarcină a circuitelor.

Un întreruptor, în afară de tensiunea și curentul său nominal, este caracterizat și prin curentul pe care poate să-l întrerupă (curentul de rupere). Dacă el va rupe un curent mai mare decît curentul de rupere pentru care a fost construit va fi deteriorat sau chiar distrus. La întreruptoarele cu ulei sau alte lichide pericolul de explozie este foarte mare în acest caz.

Ne putem pune întrebarea cine acționează (închide sau deschide) întreruptoarele uriașe pe care le-am văzut în instalațiile cu tensiuni ridicate ?

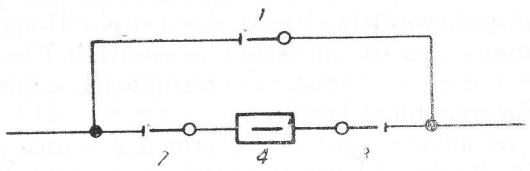
Acționarea întreruptoarelor de mare putere necesită dispozitive speciale, capabile să dezvolte eforturile necesare. Comanda acestor dispozitive se poate face și de la distanță, din camera de comandă, cu ajutorul unor butoane sau chei de comandă. Pentru întreruptoarele de puteri mici, acționarea se poate face și manual, prin intermediul unor dispozitive de acționare cu pîrghii.

La întreruptoarele cu aer comprimat, conectarea și deconectarea acestora se realizează cu ajutorul unui dispozitiv

pneumatic. La o mare parte din celelalte întreruptoare, efortul de deconectare este dezvoltat de un resort armat (întins sau comprimat), iar efortul la conectare (necesar și pentru armarea resortului) este dezvoltat cu ajutorul unui dispozitiv pneumatic, electric sau manual. La întreruptoarele moderne se folosesc și alte tipuri de dispozitive de acționare, care pot dezvolta eforturi mari și realiza o viteză mare de închidere sau deschidere a contactelor (spre exemplu, dispozitivele oleopneumatice).

Separatoarele sînt aparate destinate pentru deschiderea circuitelor sub tensiune, dar fără sarcină. Deoarece nu sînt prevăzute cu dispozitive pentru stingerea arcului, nu pot întrerupe decît curenți foarte mici. De aceea, manevrarea lor este permisă numai atunci cînd circuitele sînt în gol, sau cînd prin acestea circulă un curent foarte mic. De asemenea, este permisă închiderea sau deschiderea unui separator dintr-un circuit în sarcină numai dacă circuitul rămîne închis prin alte aparate, aflate în paralel cu separatorul care se manevrează. Astfel, se poate deschide sau închide separatorul *1* din circuitul prezentat în fig. 4.13, chiar dacă prin acesta circulă un curent mare, deoarece circuitul nu este deschis sau închis prin separatorul manevrat, în paralel cu el existînd o altă cale prin care curentul se închide în continuare (separatoarele *2*, *3* și întreruptorul *4*).

Cu ajutorul separatoarelor nu pot fi întrerupte circuitele unor linii lungi sau ale unor transformatoare cu puteri mari, chiar dacă nu sînt în sarcină, deoarece curentul lor de mers în gol poate avea o valoare mai mare decît aceea care poate fi ruptă de separatorul respectiv. De asemenea, nu este admisă nici punerea sub tensiune în gol a acestora prin închiderea separatoarelor. O mare greșeală ar fi și punerea sub tensiune, chiar în gol, cu ajutorul unui separator, a unui circuit (linie, transformator, bare colectoare etc.) despre care



4.13. Separator în paralel cu o altă cale de curent.

nu se ştie sigur că nu are nici un defect. Dacă în acesta ar fi un scurtcircuit, la apropierea contactelor separatorului ar lua naştere între ele un arc electric puternic, care l-ar deteriora.

Una din sursele cele mai frecvente ale avariilor produse în instalaţiile electrice din cauza greşelilor de manevrare a aparatelor este deschiderea, din neatenţie, a unui separator dintr-un circuit în sarcină (în locul deschiderii separatorului dintr-un circuit care a fost întrerupt se deschide separatorul dintr-un circuit vecin, care este în sarcină, sau se deschide separatorul înainte de a se închide aparatele care asigură calea prin care circuitul va rămîne în continuare închis, în paralel cu separatorul care se deschide, etc.).

Dacă manevrarea separatoarelor se face cu atîtea restricţii, de ce mai sînt ele necesare? De ce nu sînt folosite numai întreruptoare, care pot fi manevrate fără atîtea îngrădiri? În primul rînd întreruptoarele, mai ales cele pentru tensiuni ridicate, sînt aparate mult mai scumpe decît separatoarele şi nu sînt montate decît acolo unde sînt strict necesare. Adeseori este însă necesar să se execute diferite modificări în schema (configuraţia) de funcţionare a instalaţiilor, lucru care poate fi făcut cu ajutorul separatoarelor. În al doilea rînd, întreruptoarele (cu unele excepţii, în special la joasă tensiune) nu asigură o întrerupere vizibilă a circuitelor, contactele lor neputînd fi văzute decît dacă s-ar demonta întreruptorul. Pentru a se realiza siguranţa de funcţionare a instalaţiilor electrice este necesar să fie efectuate revizii şi reparaţii ale utilajului, atît preventiv, cît şi în urma unor avarii. Cine ar avea însă curajul să lucreze la o instalaţie de înaltă tensiune dacă aceasta nu ar fi separată vizibil din toate părţile de unde s-ar putea primi tensiune? Separatorul este aparatul care asigură, în poziţia deschis, un spaţiu de aer de mărime suficientă, bine vizibil, care asigură la rîndul său izolaţia necesară.

Pentru a putea fi acţionate, separatoarele sînt prevăzute şi ele cu dispozitive de acţionare. Acestea pot fi manuale, cu aer comprimat sau cu servomotoare electrice. Ele sînt însă mai puţin pretenţioase decît la întreruptoare, acţionarea separatoarelor putîndu-se face lent.

Toate circuitele trebuie să fie protejate contra curenţilor de scurtcircuit, dar nu este economic ca toate să fie prevăzute cu întreruptoare automate.

Siguranţele fuzibile constituie unul din cele mai vechi aparate de protecţie, care au apărut în primele momente ale dezvoltării electrotehnicii. Siguranţele de joasă şi cele de înaltă tensiune s-au perfecţionat continuu, transformîndu-se în aparate care îndeplinesc cu succes protecţia instalaţiilor electrice contra scurtcircuitelor, înlocuind într-o serie de cazuri întreruptoarele automate costisitoare, mai ales acolo unde nu este nevoie de un grad înalt de operativitate. S-au construit siguranţe fuzibile chiar şi pentru tensiunea de 110 kV.

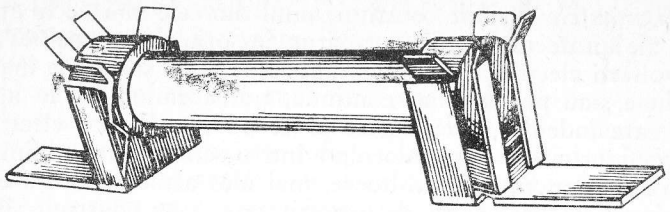
Elementul principal al unei siguranţe este fuzibilul, format dintr-un conductor metalic sub forma unui fir subţire sau unei lamele, care se topeşte atunci cînd este parcurs de un curent ce depăşeşte o anumită valoare. Ele pot fi din plumb, aliaje de plumb şi cositor, zinc, aluminiu, cupru, argint sau alte metale. Fuzibilul este montat într-un corp de porţelan, ceramică, sticlă sau fibră (*patronul siguranţei*), prevăzut cu contacte.

Patronul se fixează într-un suport prevăzut şi el cu contacte, care serveşte la susţinerea patronului, racordarea siguranţei în circuit şi izolarea părţilor sub tensiune faţă de suportul pe care este fixată aceasta.

Siguranţele construite pentru a întrerupe curenţi mari de scurtcircuit (chiar şi cele de joasă tensiune) sînt prevăzute cu dispozitive de stingere a arcului. La unele dintre acestea, fuzibilul este introdus într-un tub de porţelan umplut cu nisip de cuarţ sau alte materiale inerte, izolante, cu granulaţie fină (talc, acid boric). După topirea fuzibilului, arcul format este obligat să ardă într-un contact strîns cu grăunţii de nisip de cuarţ, prin care gazele ionizate difuzează şi se condensează, contribuind la răcirea intensă a arcului. La altele, fuzibilul este introdus într-un tub dintr-un material generator de gaze. Sub acţiunea arcului electric pereţii interiori ai tubului degajă o mare cantitate de gaze, presiunea în tub creşte pînă la cîteva zeci de atmosfere (la unele siguranţe de înaltă tensiune ajunge la peste o sută de atmosfere), iar arcul electric este stins datorită presiunii ridicate sau suflării acestuia de către jetul de gaze care iese printr-un capăt al tubului.

În fig. 4.14 este prezentată o siguranţă fuzibilă de înaltă tensiune.

La joasă tensiune, pentru protejarea circuitelor în care curenţii de scurtcircuit nu sînt mari se folosesc siguranţe fără



4.14. Siguranță fuzibilă de 10 kV.

dispozitive de stingere a arcului, dintre care fac parte și siguranțele fuzibile pe care le avem și noi acasă. Acestea sînt siguranțe cu filet, folosite și în prezent pe scară largă pentru protecția circuitelor electrice și a electromotoarelor de mică putere. Avantajul lor constă în faptul că *bușonul* se deșurubează fără a fi necesară atingerea părților care se găsesc sub tensiune, iar înlocuirea fuzibilului este posibilă numai prin deșurubarea bușonului.

Cîte momente neplăcute ne-a provocat uneori „arderea unei siguranțe" (de fapt topirea fuzibilului acesteia), cînd afară era deja întuneric sau cînd emisiunea la televizor era mai interesantă. Fără aceasta însă curentul datorat scurtcircuitului ar fi condus la deteriorarea instalației electrice, putînd provoca chiar incendii, sau ar fi condus la arderea altei siguranțe din afara locuinței și rămînerea mult timp fără tensiune. Acest lucru se întîmplă adesea atunci cînd „meșteri" de ocazie, în loc să înlocuiască fuzibilul împreună cu corpul din ceramică în care este fixat (patronul), cu altul cu același curent nominal (înscris pe patron), se apucă să improvizeze fuzibile din fel de fel de sîrme sau cuie. Fuzibilul unei siguranțe se va topi cu atît mai repede cu cît curentul nominal al acestuia (curentul pentru care a fost construit, care poate trece prin el timp îndelungat fără a provoca arderea sau încălzirea sa) este mai mic și cu cît curentul de scurtcircuit este mai mare. La un același curent de scurtcircuit, o siguranță al cărei fuzibil are un curent nominal de 6 sau 10 A „se va arde" de obicei înaintea uneia al cărei fuzibil are un curent nominal de 16 sau 25 A. Spre exemplu, dacă pe un circuit principal, din care se alimentează mai multe circuite secundare, este o siguranță cu un fuzibil de 25 A, iar pe circuitele secundare siguranțe cu fuzibil de 6 sau 10 A,

acestea „se vor arde" aproape întotdeauna înaintea siguranței de pe circuitul principal. Înlocuind fuzibilul calibrat, de 6 sau 10 A, cu o sîrmă (liță) oarecare, siguranța de pe circuitul principal „se va arde" în cele mai multe cazuri înaintea acesteia.

În locul siguranțelor fuzibile se folosesc și așa-zisele siguranțe automate, de fapt niște mici întreruptoare automate, care declanșează imediat ce curentul care la parcurge depășește valoarea pentru care sînt reglate. Spre deosebire de siguranțele fuzibile, timpul de declanșare al acestora nu depinde de curentul lor nominal și nici de valoarea curentului de scurtcircuit. Dacă pe circuitele secundare sînt siguranțe automate de 6 sau 10 A, iar pe circuitul principal din care se alimentează acestea ar fi tot o siguranță automată, chiar de 25 A, la un scurtcircuit pe un circuit secundar ar declanșa simultan atît siguranța de pe acesta, cît și siguranța de pe circuitul principal. Numai cu siguranțe automate nu se poate realiza o declanșare selectivă doar a circuitului secundar defect. Dacă pe circuitul principal vom avea însă o siguranță fuzibilă de 16 sau 25 A, la un defect pe un circuit secundar siguranța automată a acestuia ar declanșa înainte ca fuzibilul siguranței de pe circuitul principal să se încălzească suficient pentru a se topi.

Prin scoaterea siguranțelor se poate realiza și o întrerupere vizibilă a circuitelor în cazurile în care este necesar să se lucreze la acestea.

Aparatele care servesc la închiderea și deschiderea circuitelor electrice (întreruptoare, separatoare, siguranțe) constituie așa-zisele *aparate de comutație.*

Explicațiile privind siguranțele ne ajută să înțelegem și modul cum sînt protejate circuitele electrice din locuința noastră cu ajutorul acestora.

Pentru supravegherea funcționării instalațiilor este necesară măsurarea curenților și puterilor care parcurg circuitele, tensiunilor la care funcționează acestea, frecvenței curentului, energiilor etc. Aceasta se face cu ajutorul aparatelor de măsură, cum ar fi ampermetrele, wattmetrele, varmetrele, voltmetrele, frecvențmetrele, contoarele (pentru măsurarea energiilor) etc.

La instalațiile de joasă tensiune ele pot fi racordate direct la circuitele respective. La instalațiile de înaltă tensiune

ele nu pot fi însă racordate direct la circuitele primare, din cauza tensiunii ridicate la care funcţionează acestea. De asemenea, curenţii care le parcurg au intensităţi mari, care nu pot fi suportate de aparatele de măsură. Din aceste motive, racordarea lor la circuitele primare se face prin intermediul aşa-numitelor *transformatoare de măsură*, care asigură atît transformarea curentului şi tensiunii la valori care pot fi suportate de aparatele de măsură, cît şi izolarea acestora faţă de tensiunile ridicate ale circuitelor primare. Chiar şi la instalaţiile de joasă tensiune, unde nu se pune problema unor tensiuni ridicate, dar unde curenţii pot fi mari, se folosesc în multe cazuri transformatoare de măsură, pentru obţinerea unor curenţi cu intensităţi mici, care să poată fi măsuraţi.

Transformatoarele de măsură funcţionează după aceleaşi principii ca şi transformatoarele de forţă. Ele sînt de două feluri: transformatoare de tensiune (reductoare de tensiune), care transformă tensiunea înaltă a circuitului primar într-o tensiune joasă (în secundarul lor se obţine o tensiune egală cu tensiunea din circuitul primar împărţită la raportul de transformare), şi transformatoare de curent (reductoare de curent), care transformă curentul cu intensitate mare din circuitul primar într-un curent cu intensitate mică (în secundarul lor se obţine un curent egal cu curentul din circuitul primar împărţit la raportul de transformare).

Dar nu numai aparatele de măsură se racordează la circuitele primare prin intermediul transformatoarelor de măsură. Cu ajutorul acestora se racordează şi aparatele (releele) şi circuitele dispozitivelor de protecţie şi automatizare a circuitelor primare.

Pentru a proteja izolaţia şi aparatele din circuitele primare împotriva supratensiunilor induse de descărcările atmosferice se folosesc aşa-numitele *descărcătoare*. Acestea sînt aparate care au rolul de a limita undele de supratensiune. Ele se montează pe linii, la barele colectoare ale staţiilor, la transformatoarele din reţea etc., fiind legate între conductoarele active şi priza de pămînt. Elementul principal al unui descărcător este intervalul disruptiv — eclatorul — care separă conductorul activ de priza de pămînt. În trecerea ei, unda cu amplitudine mare provoacă străpungerea acestui interval, care la rîndul său retează unda de supratensiune. Descărcătoarele au şi dispozitive pentru întreruperea şi stingerea arcului electric care se formează după străpungerea intervalului disruptiv.

Protecţia staţiilor electrice împotriva loviturilor directe de trăsnet se realizează cu ajutorul paratrăsnetelor, care se montează pe acoperişul clădirilor, iar la staţiile exterioare pe suporţii care susţin barele colectoare sau pe suporţi separaţi.

După ce am văzut care sînt elementele principale dintr-o staţie electrică şi am aflat ce rost au şi cum funcţionează, putem să urmărim mai bine explicaţiile care ni se dau asupra rostului staţiei în întregime şi asupra schemei de funcţionare a acesteia.

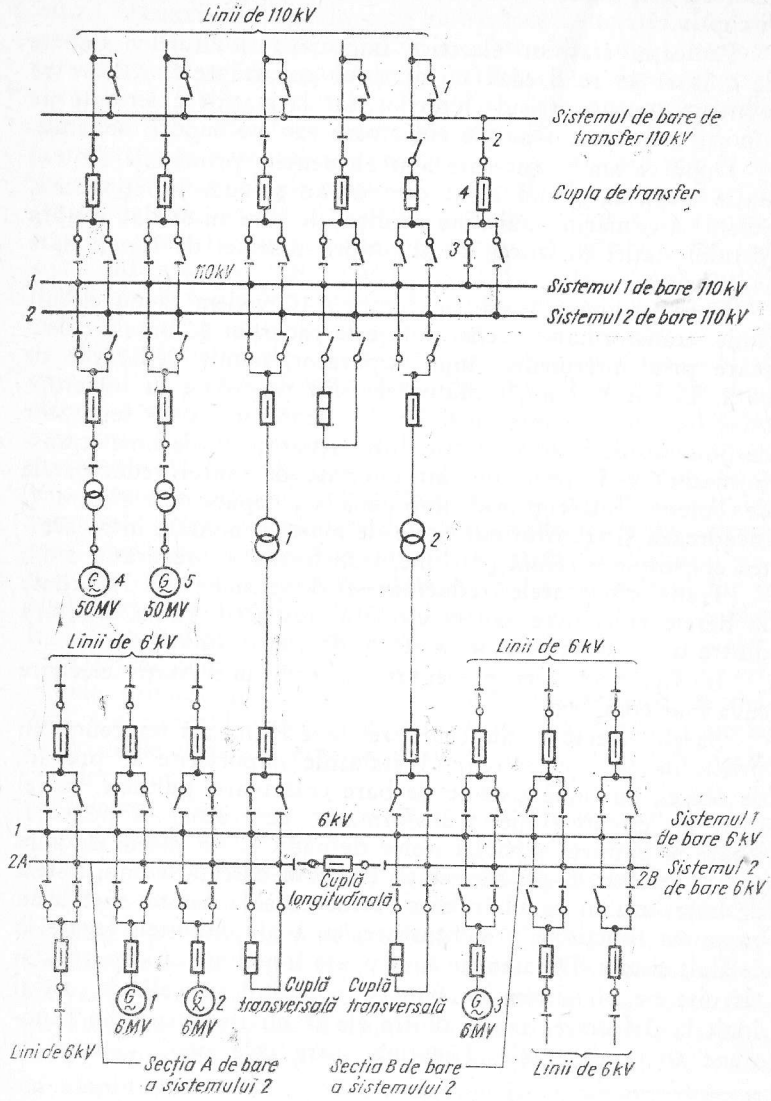
Dacă privim schema din figura 4.10 vedem că un circuit (linie, transformator, generator) este racordat la barele colectoare prin intermediul unui separator, numit separator de bară. Liniile şi transformatoarele sînt racordate la întreruptorul lor tot prin intermediul unui separator, numit separator de linie sau de transformator. Între separatorul de linie (transformator) şi întreruptor sînt montate de obicei reductoarele de curent. Întreruptorul împreună cu separatoarele care îl încadrează şi transformatoarele de măsură montate între acestea constituie o *celulă* (de linie, transformator, generator etc.).

Transformatoarele (reductoarele) de tensiune sînt racordate la barele colectoare sau la circuitul respectiv (linie, legătura dintre transformator şi separatorul de transformator etc.).

În fig. 4.15 este prezentată schema unei staţii electrice ceva mai complexe [1].

Barele colectoare ale celor trei faze formează împreună un *sistem de bare colectoare*. Instalaţiile importante se prevăd, de obicei, cu două sisteme de bare colectoare, paralele, astfel încît un circuit (linie, transformator, generator) să poată fi legat, cu ajutorul separatoarelor de bară, la un sistem de bare sau la celălalt, după necesităţi. În cazul defectării unui sistem de bare, sau în cazul în care se lucrează la acesta, instalaţia va putea funcţiona în continuare, cu toate circuitele legate la celălalt sistem. De asemenea, se poate funcţiona cu o parte din circuite pe un sistem de bare şi cu restul pe celălalt, astfel încît la defectarea unuia dintre ele să nu fie scoase din funcţiune toate circuitele. Legătura între cele două sisteme de

[1] Pentru înţelegerea schemelor a se vedea anexa B: „Semne convenţionale folosite în schemele electrice".



4.15. Schema unei stații electrice 110/6 kV.

bare se poate stabili sau întrerupe cu ajutorul unui întreruptor, încadrat de două separatoare, care constituie așa-numita *cuplă între bare.*

Sistemele de bare sînt numerotate (sistemul 1 de bare, sistemul 2 de bare). De cele mai multe ori nu se mai spune „sistemul 1 de bare de 110 kV" „sistemul 2 de bare de 110 kV", ci, simplu, „bara 1—110 kV" „bara 2—110 kV".

În cazul instalațiilor care au un singur sistem de bare, de cele mai multe ori acesta este împărțit în două sau chiar trei *secții de bare,* legătura dintre acestea fiind asigurată printr-un întreruptor încadrat de separatoare, sau numai printr-un separator. Spre deosebire de sistemele de bare, în cazul secțiilor de bare un circuit nu poate fi racordat decît la o singură secție. Chiar și în cazul instalațiilor cu două sisteme de bare, atunci cînd barele sînt lungi, la ele racordîndu-se multe circuite, unul dintre sisteme (uneori chiar amîndouă) este împărțit în două secții, legate între ele printr-o cuplă. Se realizează astfel scheme care au o siguranță mare în exploatare, ieșirea din funcțiune a unei secții sau chiar a unui sistem de bare neconducînd la ieșirea din funcțiune a întregii instalații.

La stațiile foarte importante este prevăzut și un sistem de bare suplimentar, la care circuitele (linie, transformator, generator) pot fi legate printr-un separator, care constituie *bara de transfer* sau *bara de ocolire.* Bara de transfer poate fi legată la oricare dintre cele două sisteme de bare prin intermediul unei *cuple de transfer,* constituită dintr-un întreruptor, racordat prin separatoare atît la bara de transfer cît și la sistemele de bare 1 și 2. Astfel, dacă întreruptorul propriu al unui circuit este defect, circuitul va putea funcționa în continuare dacă este legat la bara de transfer prin separatorul 1, care este închis, iar aceasta este legată la unul din sistemele de bare prin cupla de transfer, la care separatoarele 2 și 3 și întreruptorul 4 sînt închise (fig. 4.15). Întreruptorul cuplei de transfer poate înlocui astfel întreruptorul oricărui circuit care este legat la bara de transfer, lucru foarte important dacă avem în vedere că întreruptoarele sînt aparate care lucrează în condiții grele la întreruperea curenților de scurtcircuit și este necesar să fie revizuite destul de des.

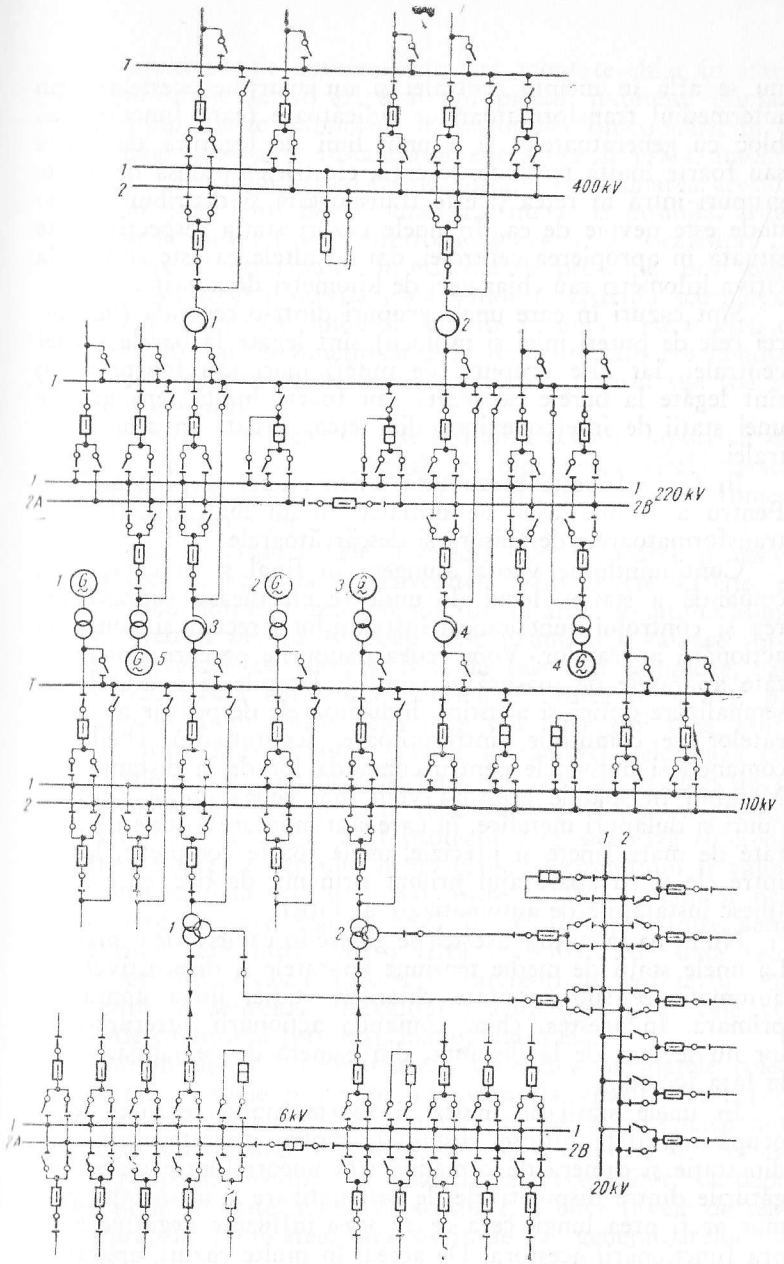
Generatoarele din centralele electrice sînt legate la barele stației electrice fie direct, la tensiunea generatorului, fie prin intermediul unui transformator care funcționează bloc cu generatorul și care ridică tensiunea energiei electrice produsă de

acesta la valoarea necesară pentru transportul său spre locurile de consum. Generatoarele de puteri mari şi foarte mari debitează energia la staţie la tensiuni înalte sau foarte înalte, funcţionînd bloc cu transformatorul ridicător de tensiune.

Staţia electrică la barele căreia sînt legate generatoarele este situată de foarte multe ori chiar în incinta centralei şi aparţine acesteia (staţia centralei).

Urmărind schema din figura 4.15 vedem că grupurile (turbină-generator) 1, 2 şi 3, cu puteri de 6 MW, debitează energia produsă în barele de 6kV, la care sînt legate şi linii prin care sînt alimentaţi consumatori aflaţi în apropierea centralei. Grupurile 4 şi 5, cu puteri de 50 MW, debitează energia produsă în barele de 110 kV, prin intermediul unui transformator care funcţionează bloc cu generatorul. La barele de 110 kV sînt legate linii de 110 kV prin care se asigură legătura staţiei cu alte staţii şi centrale din reţea (din sistemul energetic), precum şi linii de 110 kV prin care se alimentează consumatorii care absorb puteri mari sau sînt situaţi la distanţe mai mari. Legătura între barele de 110 kV şi cele de 6 kV este asigurată prin intermediul a două transformatoare. În cazul în care grupurile 1, 2 şi 3 produc o putere mai mare decît aceea cerută de consumatorii alimentaţi din barele de 6 kV, surplusul de putere va fi debitat în barele de 110 kV, prin cele două transformatoare 110/6 kV, iar în cazul în care puterea produsă de aceste grupuri este mai mică decît consumul alimentat din barele de 6 kV, diferenţa de putere este preluată din barele de 110 kV prin aceste transformatoare. Dacă puterea produsă de grupurile din centrală (1, 2, 3, 4 şi 5) este mai mare decît puterea cerută de consumatorii alimentaţi din barele de 110 şi 6 kV, surplusul de putere este debitat în reţea (în sistemul energetic) prin liniile de 110 kV de legătură cu celelalte staţii, iar dacă puterea produsă de grupuri este mai mică decît puterea cerută de consumatorii alimentaţi din staţie, diferenţa este preluată din reţea (din sistemul energetic). Chiar dacă centrala este oprită complet, consumatorii vor putea fi alimentaţi în continuare din staţie, puterea necesară fiind preluată în întregime din sistem, prin liniile de legătură ale staţiei cu celelalte staţii din reţea.

Uneori, grupurile de puteri mari sau foarte mari dintr-o centrală electrică sînt legate la barele de înaltă sau foarte înaltă tensiune ale unei staţii de interconexiune din reţea (care



4.16. Schema unei staţii electrice complexe.

nu se află în incinta centralei şi nu aparţine acesteia) prin intermediul transformatoarelor ridicătoare (care funcţionează bloc cu generatoarele) şi a unor linii de legătură de înaltă sau foarte înaltă tensiune. Energia electrică produsă de aceste grupuri intră în reţea şi este transportată şi distribuită acolo unde este nevoie de ea. În unele cazuri staţia respectivă este situată în apropierea centralei, dar în altele ea este situată la cîţiva kilometri sau chiar zeci de kilometri de aceasta.

Sînt cazuri în care unele grupuri dintr-o centrală (de obicei cele de puteri mici şi mijlocii) sînt legate la barele staţiei centralei, iar alte grupuri (de puteri mari sau foarte mari) sînt legate la barele de înaltă sau foarte înaltă tensiune ale unei staţii de interconexiune din reţea, situată în afara centralei.

În fig. 4.16 este prezentată schema unei staţii complexe. Pentru a fi mai uşor de urmărit nu au mai fost figurate transformatoarele de măsură şi descărcătoarele.

Continuîndu-ne vizita ajungem în final şi în camera de comandă a staţiei, locul de unde se efectuează supravegherea şi controlul funcţionării instalaţiilor precum şi comanda acţionării aparatelor. Vom vedea panourile pe care sînt montate aparatele de măsură şi control, lămpile şi aparatele de semnalizare optică şi acustică, indicatoarele de poziţie ale aparatelor de comutaţie (întreruptoare, separatoare), cheile de comandă şi butoanele pentru comanda lor de la distanţă etc. Mergînd în spatele acestora vom mai vedea multe alte panouri şi dulapuri metalice, în care sînt montate o serie de aparate de mare fineţe şi precizie, unele foarte complexe, legate între ele şi cu aparatajul primar prin mii de fire, care alcătuiesc instalaţiile de automatizare a staţiei.

Nu în toate staţiile acestea se găsesc în camera de comandă. La unele staţii de medie tensiune aparatele şi dispozitivele de automatizare sînt montate chiar în staţie, lîngă aparatura primară. În acestea, chiar comanda acţionării întreruptoarelor nu se face de la distanţă, din camera de comandă, ci de la faţa locului.

În unele staţii de înaltă şi foarte înaltă tensiune, care ocupă suprafeţe întinse, distanţele dintre aparatajul primar din staţie şi camera de comandă sînt uneori foarte mari. Legăturile dintre dispozitivele de automatizare şi aparatajul primar ar fi prea lungi, ceea ce ar avea influenţe negative asupra funcţionării acestora. De aceea, în multe cazuri, aparatele

şi dispozitivele de automatizare sînt montate chiar în staţie, în nişte cabine de zid aflate în apropierea circuitelor primare.

Un rol foarte important în asigurarea funcţionării în cît mai bune condiţii a instalaţiilor energetice îl joacă automatizarea. La nivelul actual de dezvoltare, funcţionarea acestora rără un grad înalt de automatizare nu ar fi posibilă. Automatizările instalaţiilor electroenergetice s-au dezvoltat în două direcţii principale : instalaţiile de protecţie prin relee, care au ca scop protecţia instalaţiilor la apariţia scurtcircuitelor, la depăşirea limitelor admise a unor parametri de funcţionare sau la funcţionarea în regimuri care pot conduce la avarii, şi instalaţiile de automatizare propriu-zise (de reglare şi comandă).

Protecţia prin relee a instalaţiilor electrice împotriva curenţior de scurtcircuit este de o importanţă vitală pentru asigurarea continuităţii în funcţionarea instalaţiilor şi alimentarea consumatorilor.

Schemele, dispozitivele şi releele folosite pentru protecţia circuitelor la apariţia scurtcircuitelor sînt foarte variate, de la cele mai simple, care comandă declanşarea circuitului atunci cînd curentul prin acesta depăşeşte o anumită valoare (protecţii maximale de curent), pînă la cele mai complexe, care sesizează natura defectului (scurtcircuit între o fază şi pămînt, scurtcircuit între două faze sau între trei faze, scurtcircuit între faze şi între acestea şi pămînt), selectează circuitul defect şi comandă declanşarea acestuia în funcţie de distanţa de la staţie la locul defectului şi de natura acestuia (protecţii de distanţă). Sînt protecţii care sesizează diferenţa dintre valoarea curentului la un capăt al circuitului şi valoarea curentului la celălalt capăt, între valorile curenţilor prin două circuite care funcţionează în paralel, sau între suma curenţilor care intră într-o bară colectoare şi suma celor care ies din aceasta (protecţii diferenţiale), protecţii care compară şi sesizează neegalitatea curenţilor prin cele trei faze ale circuitului (protecţii homopolare) etc.

Dar liniile, transformatoarele, generatoarele, barele colectoare etc., trebuie protejate nu numai la apariţia curenţilor de scurtcircuit, ci şi în cazul abaterilor de la parametrii normali de funcţionare. Sînt relee, scheme şi dispozitive care asigură protecţia acestora la apariţia suprasarcinilor, la depăşirea unor anumite nivele de tensiune, a unor nivele de temperatură, la rămînerea fără excitaţie a generatoarelor, la

schimbarea sensului de circulaţie a puterii active de la reţea spre generator, şi încă multe altele.

Protecţiile prin relee cu care sînt prevăzute diferitele circuite şi echipamente şi nivelul la care sînt realizate depind de natura echipamentelor şi circuitelor protejate, puterea şi importanţa acestora, locul pe care îl ocupă în ansamblul reţelei (sistemului), legăturile pe care le au cu alte instalaţii din sistem etc.

Dintre automatizările cele mai des întîlnite, în afara RAR-urilor (reanclanşarea automată rapidă a circuitelor), mai sînt AAR-urile (anclanşarea automată a rezervei) şi DAS-urile (descărcarea automată a sarcinii).

Prin anclanşarea automată a alimentării de rezervă (AAR) se înţeleg dispozitivele care în cazul ieşirii din funcţiune, din orice cauză, a alimentării normale (de lucru), conectează automat alimentarea de rezervă. Astfel, dacă barele de medie tensiune ale unei staţii de transformare sînt alimentate din barele de înaltă tensiune prin două transformatoare, dintre care unul în funcţiune şi celălalt în rezervă, la declanşarea transformatorului în funcţiune AAR comandă anclanşarea transformatorului aflat în rezervă, realimentînd rapid barele de medie tensiune şi consumatorii legaţi la acestea.

AAR-urile pot fi prevăzute şi pe linii, cuple, etc. Ele constituie o măsură foarte eficace nu numai în instalaţiile de distribuţie, dar şi în cele de producere a energiei electrice, în special în serviciile interne ale centralelor. Poate fi folosită anclanşarea automată a celor mai variate mecanisme, inclusiv a celor neacţionate electric.

Prin descărcarea automată a sarcinii (DAS) se înţeleg dispozitivele care în cazul ieşirii din limitele normale de funcţionare a unor parametri, fapt ce ar putea pune în pericol funcţionarea sistemului energetic sau a unor zone ale acestuia, comandă deconectarea automată rapidă a unor consumatori (declanşîndu-se linii, transformatoare), pentru ca prin micşorarea consumului parametri să revină în limitele normale. Sînt, astfel, DAS-uri de frecvenţă (DAS-f), care acţionează la scăderea frecvenţei sub anumite valori, DAS-uri de tensiune (DAS-U), care acţionează la scăderea tensiunii sub o anumită limită, şi DAS-uri de putere (DAS-P), care acţionează la creşterea puterii pe anumite circuite peste limita admisă. Uneori se prevăd şi dispozitive care reconectează automat consumatorii care au fost declanşaţi prin acţionarea DASurilor, la revenirea parametrilor în limitele normale de funcţionare (dispozitive pentru reanclanşarea automată a sarcinii, RAS).

În reţelele electrice întîlnim şi alte automatizări, unele dintre acestea foarte complexe, care cuprind zone întregi din sistem. Alături de dispozitivele şi releele clasice sînt folosite din ce în ce mai mult dispozitive şi relee electronice, precum şi microprocesoare şi calculatoare de proces. Ca şi centralele electrice, staţiile dispun de instalaţii de alimentare a servicilor interne (iluminat, acţionări, redresoare pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare, etc.).

Pentru alimentarea dispozitivelor de protecţie prin relee şi automatizare, a unor acţionări, semnalizări, comenzi, precum şi a iluminatului de siguranţă, sînt prevăzute baterii de acumulatoare, care asigură continuitatea alimentării acestora şi în cazurile în care instalaţiile de curent alternativ rămîn fără tensiune.

Numărul staţiilor electrice fiind din ce în ce mai mare ar fi nevoie de personal din ce în ce mai numeros care să asigure în permanenţă serviciul. Prin creşterea gradului de automatizare tot mai multe staţii funcţionează însă fără personal permanent.

De asemenea, un număr tot mai mare de staţii sînt telecomandate de la distanţe de kilometri sau chiar zeci de kilometri. Astfel, de la o staţie mai mare poate fi telecomandată o staţie mai mică, sau chiar mai multe. În cazul în care sînt multe staţii situate la distanţe nu prea mari una faţă de alta (cazul marilor oraşe sau al zonelor industrializate), un grup de staţii poate fi telecomandat de la un punct central. La aceste puncte sînt aduse măsuri şi semnalizări din staţii şi de aici se telecomandă acţionarea aparatelor de comutaţie şi efectuarea reglajelor. De la un astfel de punct (care de multe ori este situat la una dintre staţiile mari, aflată într-o poziţie centrală faţă de celelalte, sau chiar la un punct de dispecer de reţele) pot fi telecomandate 10—15 staţii, de către una sau două persoane. Punctele de telecomandă moderne sînt tot mai mult înzestrate cu calculatoare de proces, care uşurează munca personalului şi fac să crească siguranţa în exploatarea instalaţiilor. Sînt folosite uneori circuite de televiziune, cu ajutorul cărora instalaţiile pot fi

supravegheate şi vizual din punctul de unde sînt telecomandate.

Telecomanda instalaţiilor este din ce în ce mai răspîndită nu numai la staţii, ci şi în reţelele de distribuţie şi chiar la unele centrale (în special la hidrocentrale de puteri mici).

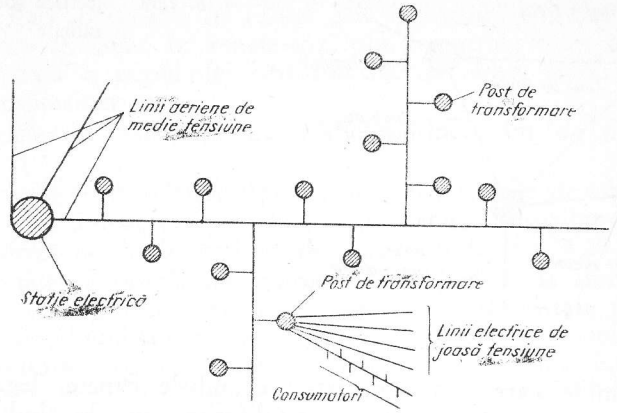
De multe ori sînt necesare scoaterea din funcţiune a unor echipamente pentru revizii, reparaţii sau probe şi pregătirea acestora în vederea acestui scop, modificarea configuraţiei de funcţionare a staţiei sau reţelei, pornirea sau oprirea unor agregate, etc. Pentru aceasta este necesar să se efectueze o serie de acţionări ale aparatelor de comutaţie, de puneri sau scoateri din funcţiune a unor protecţii prin relee şi automatizări, de modificări ale unor reglaje la acestea etc. Este necesară deci efectuarea de *manevre* în instalaţiile electrice. Prin *manevră* se înţelege efectuarea ansamblului de operaţii prin care se schimbă starea operativă a echipamentelor sau schema de conexiuni în care funcţionează acestea, într-o ordine bine stabilită, fără ca personalul să atingă direct părţile aflate sau destinate a se afla sub tensiune.

În centralele electrice, în afara manevrelor în instalaţiile electrice, se efectuează manevre şi în instalaţiile mecanice.

Varietatea staţiilor electrice este foarte mare. De la staţiile de transformare cu scheme foarte simple pînă la staţiile de interconexiune şi transformare cu scheme foarte complexe, de la staţiile cu tensiuni medii pînă la staţiile cu tensiuni foarte înalte, de la staţiile mici, care ocupă cîteva sute de metri pătraţi, pînă la staţiile uriaşe, care se întind pe multe hectare, de la staţiile în care acţionarea aparatelor de comutaţie se face manual pînă la staţiile cu un înalt grad de automatizare, de la staţiile de interes local pînă la staţiile care constituie noduri foarte importante ale sistemului energetic, de la staţiile care alimentează un singur consumator pînă la staţiile care alimentează zone întregi sau în care debitează generatoarele din marile centrale, pe toate le întîlnim într-un sistem energetic dezvoltat.

De la staţie la consumator, prin reţelele de distribuţie

Părăsind staţia de transformare, unde tensiunea ei a fost redusă de la valoarea necesară pentru transport pînă la va-



4.17. Distribuţia energiei electrice în zonele rurale.

loarea necesară pentru distribuirea la consumatori, energia electrică îşi continuă călătoria prin reţelele de distribuţie pînă la locul în care va fi consumată.

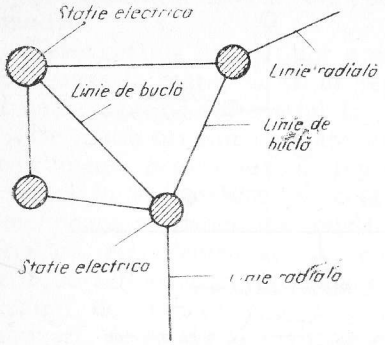
Marii consumatori industriali sînt alimentaţi în general prin linii de înaltă şi medie tensiune, care ajung în staţii de transformare sau de conexiuni situate chiar la consumator. De aici energia electrică va călători prin reţelele de distribuţie interne ale consumatorului, de medie şi joasă tensiune (linii, staţii şi tablouri de distribuţie, puncte de transformare etc.), pînă la locul unde va fi consumată.

Alimentarea consumatorilor cu puteri mici se face prin reţelele de distribuţie de medie şi joasă tensiune.

În afara oraşelor şi în zonele periferice ale acestora, distribuţia energiei electrice se face, de obicei, prin linii aeriene de medie tensiune din care se alimentează posturile de transformare, unde energia electrică este transformată de la medie tensiune la joasă tensiune. De la postul de transformare pleacă mai departe liniile de joasă tensiune, de obicei tot aeriene, din care sînt alimentaţi consumatorii (fig. 4.17).

Atît liniile de medie tensiune, cît şi liniile de joasă tensiune sînt de regulă linii cu funcţionare radială. Ce înseamnă aceasta ?

Liniile electrice pot funcţiona *în buclă* sau *radial* (fig. 4.18).



4.18. Linii electrice de buclă și radiale.

Liniile care sînt conectate la ambele capete, legate în stații (posturi de transformare) diferite care, la rîndul lor, sînt legate între ele prin alte linii și transformatoare aflate în funcțiune, astfel încît plecînd de la un capăt al liniei să existe cel puțin o buclă închisă prin care să ajungem la același capăt, funcționează *în buclă*. O linie poate funcționa în buclă și între două bare, care funcționează separat, ale aceleiași stații. Liniile care sînt alimentate de la un singur capăt, la celelalte capete nefiind legate la alte stații (posturi de transformare), liniile care sînt legate la un capăt la o stație din rețea și la celelalte capete la stații care nu sînt legate cu prima prin alte linii și transformatoare aflate în funcțiune, precum și liniile care sînt conectate numai la un capăt, la celelalte fiind deconectate, sînt linii *radiale* sau cu *funcționare radială*.

Rețelele de transport funcționează buclat, iar rețelele de distribuție funcționează în general radial, fiind însă multe cazuri în care și rețelele de distribuție de joasă și medie tensiune funcționează buclat.

Funcționarea buclată prezintă marele avantaj că asigură alimentarea neîntreruptă a consumatorilor la declanșarea uneia din linii sau la ieșirea din funcțiune a uneia din surse, dar ridică probleme destul de dificil de rezolvat și a căror soluționare conduce la scumpirea instalațiilor. Asigurarea selectări elementului la care s-a produs un defect și izolarea numai a acestuia, restul instalațiilor trebuind să rămînă în funcțiune, necesită dispozitive de protecție prin relee complexe și în general scumpe.

În zonele centrale ale orașelor distribuția energiei electrice se face prin linii în cablu, atît la medie tensiune, cît și la joasă tensiune. În zonele mai puțin centrale și cu densitate redusă a populației sînt folosite de obicei liniile de joasă tensiune aeriene.

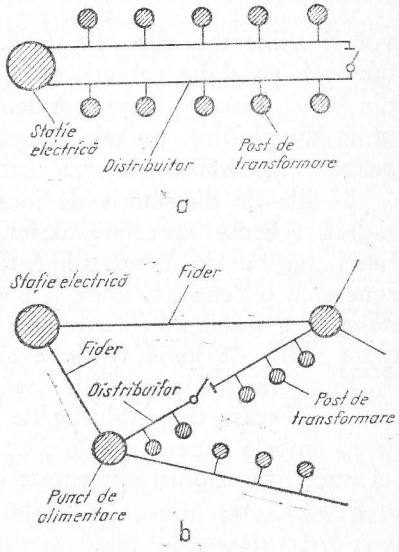
Rețelele de distribuție de medie tensiune sînt de două feluri :

— rețele cu distribuție directă, în care posturile de transformare sînt alimentate prin linii de distribuție (distribuitori) legate direct la barele stațiilor de transformare (fig. 4.19 a) ;

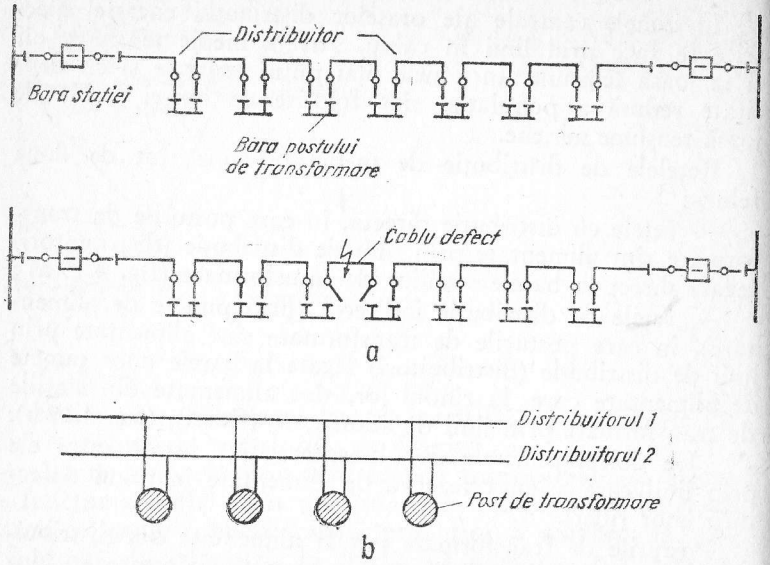
— rețele cu distribuție indirectă (prin puncte de alimentare), în care posturile de transformare sînt alimentate prin linii de distribuție (distribuitori) legate la barele unor puncte de alimentare care, la rîndul lor, sînt alimentate din stațiile de transformare prin linii de alimentare (fideri), (fig. 4.19 b).

De obicei punctele de alimentare sînt legate între ele prin linii care asigură rezerva de alimentare în cazul defectării unor fideri.

Posturile de transformare pot fi alimentate din distribuitoare în serie (fig. 4.20 a), caz în care la defectarea cablului dintre două posturi acesta va fi izolat, iar apoi posturile



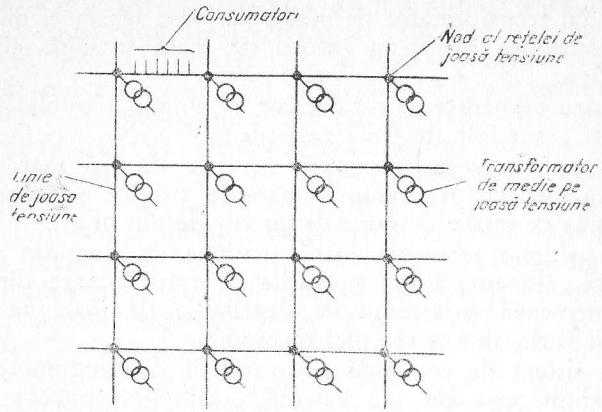
4.19. Distribuția energiei electrice în orașe.



4.20. Alimentarea posturilor de transformare din distribuitoare.

vor fi alimentate din cele două stații sau puncte de alimentare prin celelalte cabluri, sau pot fi alimentate în derivație din două distribuitoare paralele, caz în care la defectarea unui distribuitor postul este alimentat în continuare din celălalt (fig. 4.20 b).

Liniile de distribuție de joasă tensiune pot fi alimentate radial, schemă apreciată datorită simplității sale, sau pot funcționa buclat, fiind alimentate de la ambele capete. În zonele cu o densitate mare a populației rețelele de joasă tensiune sînt concepute într-o schemă *complex buclată*, în care toate liniile de joasă tensiune ale zonei sînt legate între ele în toate modurile posibile, realizîndu-se astfel o serie de noduri. Fiecare din cablurile de joasă tensiune este alimentat de la ambele capete, iar în fiecare nod al rețelei sînt legate cel puțin trei cabluri alimentate de la posturi de transformare diferite. În fig. 4.21 este prezentată schema de principiu a unei astfel de rețele.



4.21. Rețea de joasă tensiune complex buclată.

Rețelele de joasă tensiune buclate pun probleme dificile din punct de vedere al protecției selective în caz de defecte și al cunoașterii circulației de curenți, dar au o serie de avantaje importante față de rețelele radiale, cum ar fi o mai mare siguranță în alimentarea consumatorilor, pierderi în rețea și căderi de tensiune mai mici, capacitate de alimentare a consumatorilor sporită, posibilitatea de a scoate din funcțiune un element din rețea fără ca alimentarea acestora să sufere etc.

Concomitent cu creșterea populației și a consumului de energie electrică se constată și o creștere apreciabilă a densității de sarcină în marile orașe. În unele cartiere de locuințe din București densitatea de consum este de cîteva zeci de MW/km^2, iar în cartierele centrale ale unor mari orașe din lume se pot întîlni chiar densități de sute de MW/km^2.

În unele clădiri înalte și cu consumuri mari de energie electrică posturile de transformare sînt dispuse la etaje diferite, fiind alimentate prin linii de medie tensiune și legate între ele prin linii de joasă tensiune la care sînt racordați consumatorii diferitelor etaje.

În unele țări este folosit și un sistem de distribuție fără linii de joasă tensiune, (pentru cazurile în care clădirile sînt situate la distanțe mari între ele). În dreptul casei care trebuie alimentată, chiar pe stîlpul liniei de medie tensiune,

se află un transformator de medie pe joasă tensiune, din care este alimentată printr-un racord de joasă tensiune clădirea respectivă.

Pentru alimentarea instalațiilor de iluminat public (străzi piețe etc.) sînt folosite două variante :

— printr-o rețea de joasă tensiune de iluminat public separată, legată prin transformatoare proprii independente la rețeaua de medie tensiune de distribuție din oraș ;

— printr-o rețea de joasă tensiune de iluminat public separată, alimentată din posturile de transformare din care se alimentează și rețeaua de distribuție de joasă tensiune. Această variantă este cea mai răspîndită.

Un sistem de comandă a aprinderii iluminatului public, des întîlnit, este cel „în cascadă". Dintr-un punct central este pusă sub tensiune o linie de iluminat public. În postul de transformare de la celălalt capăt al liniei, în momentul în care apare tensiune pe aceasta anclanșează automat liniile de iluminat public alimentate din postul respectiv și așa mai departe, pînă cînd sînt puse în funcțiune toate liniile.

Varietatea posturilor de transformare este și ea destul de mare. Unele dintre acestea sînt foarte simple, compuse dintr-un singur transformator, protejat prin siguranțe fuzibile și legat la linia de medie tensiune printr-un separator, pe partea secundară avînd o cutie de distribuție din care pleacă liniile de joasă tensiune. Altele sînt însă dotate cu bare colectoare, au mai multe transformatoare prevăzute cu întreruptoare automate, protecție prin relee, automatizări, sînt ca niște mici stații de transformare.

În orașe, posturile de transformare sînt amplasate în cabine de zid, în încăperi speciale din clădiri sau în spații amenajate în subteran. În afara orașelor sînt de regulă amplasate în aer liber, uneori chiar la înălțime, pe un stîlp special construit.

Și iată că, prin linia de joasă tensiune, am ajuns în dreptul locuinței noastre, călătoria energiei electrice apropiindu-se de sfîrșit.

Distribuția energiei electrice prin rețelele de joasă tensiune care alimentează consumul casnic se face în sistemul cu patru conductoare (cele trei conductoare de fază și conductorul de nul). Aceste rețele funcționează cu neutrul înfășurărilor de joasă tensiune ale transformatoarelor legate la

pămînt și în consecință orice atingere a unei faze de un obiect bun conducător de electricitate care este în contact cu pămîntul înseamnă scurtcircuit pe faza respectivă. Conductorul de nul este și el legat la pămînt. Ele au tensiunea de 380/220 V (tensiunea între faze este de 380 V, iar tensiunea pe fază de 220 V). Deoarece consumatorii casnici folosesc curent monofazat (aparatele casnice fiind monofazate), fiecare locuință este racordată la linia de joasă tensiune la conductorul uneia dintre faze și la conductorul de nul. Pentru ca încărcarea liniei să fie echilibrată, consumatorii se împart pe faze astfel încît puterile absorbite de aceștia să fie aproximativ egale pe toate fazele. Astfel, noi putem fi racordați la faza *R* și nul iar vecinul la faza *S* și nul sau la faza *T* și nul.

Legătura de la linia electrică la clădire, care poate fi aeriană sau în cablu, este numită *branșament*. La clădire există o *firidă* (o cutie în zid, prevăzută cu capac) în care sosește branșamentul de la linie, este montată o siguranță pe conductorul de fază și pleacă mai departe circuitul *pe coloană* spre tabloul de distribuție din locuință. De la acest tablou, pe care se află montate siguranțele și contorul de energie electrică, pleacă mai departe circuitele electrice care alimentează prizele și corpurile de iluminat, fiecare circuit fiind prevăzut cu cîte o siguranță atît pe conductorul de fază, cît și pe conductorul de nul.

La blocurile de locuințe cablul de alimentare sosește la o firidă principală a blocului, de unde pleacă mai departe circuitele spre firidele situate la diferite etaje, din care se alimentează (prin cîte un circuit separat) fiecare apartament. În firide sînt montate și siguranțele care protejează circuitele.

Și astfel, odată ajunsă la aparatul sau lampa care o consumă, călătoria energiei electrice a luat sfîrșit.

CAPITOLUL 5

SISTEMUL ENERGETIC

De la micile centrale izolate din trecut la marile sisteme energetice de azi

Dacă în trecut funcționarea sistemului energetic era o problemă a unor cercuri restrînse de specialiști, acum ea a devenit și o problemă a noastră, a tuturor.

Prin *sistem energetic* se înțelege un ansamblu de instalații de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice, legate între ele și avînd un regim comun de funcționare.

În compunerea unui sistem energetic intră centralele electrice, rețelele de transport și distribuție, consumatorii de energie electrică, precum și consumatorii energiei termice produse prin termoficare în centralele electrice.

La început centralele electrice funcționau izolat una față de alta, alimentînd consumatorii dintr-o zonă destul de restrînsă (oraș, cartiere dintr-un mare oraș, fabrică etc.).

Funcționarea izolată a unei centrale prezintă însă mari inconveniente. Pentru a asigura alimentarea continuă a consumatorilor este necesar ca puterea și numărul grupurilor să fie astfel alese încît, în cazul reparării sau ieșirii accidentale din funcțiune a unuia din grupuri, cele rămase în funcțiune să acopere întreaga sarcină. Astfel, în cazul unei centrale care poate acoperi întreg consumul cu două grupuri este necesar un al treilea grup, care să constituie rezerva. Chiar și în acest caz, dacă în timp ce un grup este în reparație un alt grup iese accidental din funcțiune nu mai poate fi asigurată alimentarea tuturor consumatorilor, o parte din aceștia trebuind să fie sacrificați. Pentru a avea o siguranță mare în alimentarea consumatorilor ar trebui instalate patru grupuri. Uneori poate însă ieși din funcțiune, accidental, întreaga centrală. Instalarea grupurilor de rezervă și a tuturor celorlalte agregate și instalații necesare pentru acestea mărește mult costul fiecărei centrale, deoarece numărul și puterea grupurilor cresc cu 30—50%, uneori și mai mult.

Puterea centralelor izolate este determinată de puterea consumatorilor care se află în raza lor. Este necesară construirea unor centrale cu puteri relativ reduse, cu multe grupuri de puteri mici.

Sarcina unei centrale care funcționează izolat este determinată în permanență numai de puterea cerută de consumatorii din raza acesteia. Centrala nu poate funcționa economic, la o sarcină apropiată de aceea la care randamentul său este optim iar costul energiei electrice produse este minim.

Pe măsură ce energia electrică a început să fie utilizată tot mai mult, puterile cerute de consumatori să fie tot mai mari, iar aceștia să devină din ce în ce mai pretențioși în privința asigurării continuității în alimentare și prețului energiei furnizate, centralele, care funcționau izolat, făceau tot mai greu față. În momentul în care două centrale s-au legat între ele (s-au interconectat) printr-o linie electrică, pentru a se putea ajuta una pe alta în caz de nevoie, a apărut primul sistem energetic.

Să presupunem două centrale, fiecare avînd cîte patru grupuri de aceeași putere și putînd acoperi consumul cu cîte trei grupuri. La funcționarea izolată, dacă în una din centrale un grup este în reparație, iar un alt grup se defectează, nu vor mai putea fi alimentați toți consumatorii. Pentru a asigura alimentarea cu o siguranță mare a acestora ar fi necesară instalarea celui de-al cincilea grup în fiecare centrală. Dacă cele două centrale sînt însă interconectate prin una sau mai multe linii de legătură, în cazul în care un grup dintr-o centrală este în reparație și se defectează un alt grup, consumatorii pot fi alimentați în continuare, la întreaga sarcină, centrala deficitară primind energie electrică de la cealaltă centrală. Nu mai este necesară instalarea celui de-al cincilea grup în fiecare dintre centrale.

Pentru a putea asigura alimentarea continuă a consumatorilor, dacă în loc de două centrale se interconectează trei, patru, șapte centrale, este suficient ca pe ansamblul acestora să existe doar două, trei sau patru grupuri de rezervă.

Astfel, cu timpul, la cele două centrale care s-au interconectat inițial s-a legat o a treia, la acestea o a patra, apoi și altele. Pe traseul liniilor de legătură au apărut stații, acestea au fost legate între ele și cu stațiile centralelor prin noi linii, la ele s-au legat alte centrale și stații, și astfel au luat naștere sisteme energetice locale din ce în ce mai mari.

S-a constatat apoi că prin legarea sistemelor locale între ele se obțin avantaje, atît în ceea ce privește siguranța în

alimentarea consumatorilor cît și în ceea ce privește funcționarea economică. Au apărut astfel sisteme care acopereau zone întinse. La rîndul lor acestea au început să fie legate între ele, ajungîndu-se în final la sistemele energetice uriașe din ziua de azi.

Într-un sistem energetic toate centralele, stațiile, rețelele, consumatorii, sînt elemente ale uneia și aceleiași gospodării tehnico-economice. Toate elementele din care este compus sistemul funcționează în strînsă dependență, au un regim comun de funcționare. Avariile și neregulile în funcționarea unei părți din sistem sau unor elemente ale acestuia se reflectă mai mult sau mai puțin în funcționarea întregului sistem. Cînd am aprins un bec în locuința noastră am pus în legătură becul respectiv cu toate centralele, stațiile, rețelele și consumatorii din sistemul energetic din care sîntem alimentați.

De multe ori energia electrică cu care este alimentat acest bec, sau o parte din ea, este adusă de la sute sau chiar mii de kilometri. Într-un sistem energetic, nici un consumator nu poate spune că el este alimentat numai cu energie produsă în cutare centrală, acestea fiind legate între ele prin sute și mii de circuite. Energia electrică este produsă acolo unde este nevoie de ea, circulînd de la un loc la altul prin rețelele sistemului energetic. La alimentarea becului nostru contribuie mai mult sau mai puțin toate centralele din sistem.

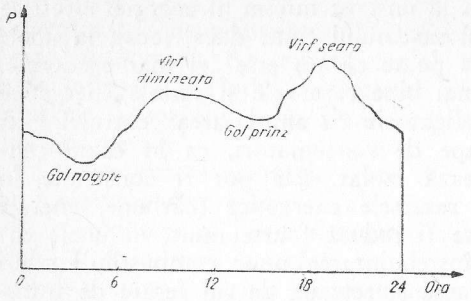
Gospodăria comună a sistemului energetic permite realizarea unor indici tehnici și economici ridicați, lucru care nu este posibil la funcționarea separată a centralelor electrice. În acest fel se micșorează mult costul centralelor electrice. În sistemele energetice, în care toate centralele funcționează în paralel prin rețelele electrice ale acestora, rezerva de putere care trebuie instalată, pentru asigurarea alimentării continue a consumatorilor, este mult mai mică decît rezerva care ar trebui instalată în centrale în cazul în care acestea ar funcționa izolat. Se pot construi centrale mari, cu agregate de puteri mari, care să funcționeze cu parametri ridicați. La ieșirea din funcțiune a unor grupuri sau chiar a unor centrale consumatorii pot fi alimentați în continuare prin utilizarea rezervelor centralelor din sistem. Siguranța în funcționare este mai mare decît în cazul alimentării din centrale care funcționează izolat.

Se poate realiza o repartiție a sarcinii între centralele din sistem, stabilindu-se pentru fiecare din ele un regim de funcționare care să conducă la un cost minim al energiei electrice și termice pe ansamblul sistemului chiar dacă, local, la unele centrale, regimul impus poate că nu este cel mai economic. Pot fi utilizate mult mai bine rezervele și sursele energetice locale. Nu mai este obligatoriu ca amplasarea centralelor să se facă cît mai aproape de consumatori, ca în cazul centralelor care funcționează izolat. Ele pot fi construite în locul în care se află resursele energetice (cărbune, energie hidraulică etc.) și poate fi redusă foarte mult, în unele cazuri chiar eliminată, întrebuințarea unor combustibili aduși din alte părți. Se descarcă și rețeaua de căi ferate de transportul unor cantități însemnate de combustibil. Pot fi utilizați combustibili inferiori (lignit, turbă, șisturi bituminoase), reducîndu-se folosirea combustibililor superiori.

Cheltuielile necesare pentru crearea sistemelor energetice (construcția de stații, rețele de transport etc.) sînt destul de mari, dar economia care se obține ca urmare a micșorării costului centralelor, exploatării economice a acestora și folosirii judicioase a resurselor energetice, compensează cu prisosință aceste cheltuieli. Costul energiei electrice în sistemele energetice este inferior, iar siguranța în alimentarea consumatorilor este mai mare decît în cazul funcționării izolate a centralelor. Aceste avantaje sînt atît de importante și hotărîtoare, încît alimentarea cu energie electrică se bazează pe sistemele energetice și nu pe centrale izolate.

Curbele de sarcină ale unui sistem energetic

Particularitatea distinctivă a energiei electrice este aceea că ea trebuie consumată în momentul în care este produsă. Lipsa acumulatoarelor de energie care să ceară investiții reduse, să aibă randamente bune și să permită stocarea unor mari cantități de energie, nu permite să se facă rezerve de energie electrică, care să poată fi utilizate în perioadele de cerere mai intensă a acesteia de către consumatori. Centralele electrice din sistem trebuie să producă în fiecare moment cantitatea de energie electrică pe care o cer consumatorii. Puterea electrică produsă de centrale trebuie să acopere în orice moment puterea cerută de consumatori, precum și puterea consumată în centrale și rețele pentru procesele de producere, transport și distribuție a energiei electrice (consumuri proprii, tehnologice).



5.1. Curba de sarcină zilnică a unui sistem energetic.

Este necesar să se urmărească continuu variațiile cererii de energie electrică și să se prevadă din timp această cerere. Astfel, dacă se prevede creșterea consumului trebuie să se pregătească din timp pornirea unor grupuri din centrale, pentru a se putea acoperi consumul sporit, iar la micșorarea acestuia să se pregătească oprirea lor. Trebuie prevăzută din timp aprovizionarea cu combustibil, realizarea de rezerve în lacurile de acumulare ale hidrocentralelor, realizarea reviziilor și reparațiilor elementelor din centrale și rețele etc.

Cea mai sugestivă reprezentare a variației cererii de energie electrică o dau *curbele de sarcină.* Acestea sînt niște diagrame unde pe axa orizontală este reprezentat timpul, iar pe axa verticală sarcinile (puterile) în fiecare moment.

Se deosebesc *curbele de sarcină zilnice,* care reprezintă variația sarcinii în decursul a 24 de ore, și *curbele de sarcină anuale,* care reprezintă variația maximelor zilnice în decursul unui an.

Să examinăm puțin o curbă de sarcină activă (de putere activă) zilnică a sistemului energetic (fig. 5.1).

Observăm că noaptea consumul este mai scăzut (unele fabrici și ateliere nu lucrează sau lucrează parțial, tramvaiele și troleibuzele s-au retras, iluminatul în locuințe este stins, aparatele casnice care rămîn în funcțiune sînt puține), pentru ca în primele ore ale dimineții să înceapă să crească. Odată cu începerea lucrului în schimbul de dimineață creșterea se accentuează. El va crește treptat, va atinge un maxim (vîrful de dimineață), după care va scădea spre orele prînzului, cînd va atinge un minim, apoi va începe din nou să crească. Creșterea va fi mai accentuată spre orele de seară (cînd se aprinde și iluminatul), pentru ca în orele serii să

atingă din nou un maxim (vîrful de seară). Pe măsură ce iluminatul se reduce, se închid magazinele și localurile, se termină spectacolele la teatre și cinematografe, în întreprinderi schimbul de după-amiază își încetează activitatea, consumul va scădea, pentru ca în timpul nopții să atingă din nou un minim.

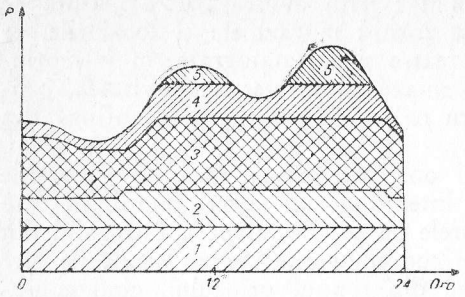
Astfel, pe parcursul unei zile deosebim patru intervale de timp caracteristice : intervalul din cursul nopții, în care consumul este scăzut (orele de gol de noapte), intervalul din cursul dimineții, în care consumul este crescut (orele de vîrf de dimineață), intervalul din timpul prînzului, cînd consumul este din nou mai scăzut (orele de gol de prînz) și intervalul din cursul serii, în care consumul este cel mai mare (orele de vîrf de seară). Pe parcursul zilei avem deci două intervale de vîrf de sarcină (de dimineață și de seară) și două intervale de gol de sarcină (de prînz și de noapte).

În timpul iernii sarcina este mai mare decît în timpul verii, iar orele de vîrf de sarcină sînt mai multe. În special intervalul de timp din cursul serii, în care consumul are valori ridicate, este mult mai mare iarna. La noi în țară sînt considerate, în principiu, ca ore de vîrf de sarcină (de dimineață și de seară), funcție de anotimp, următoarele intervale din cursul zilei :

ianuarie	*februarie*	*martie*	*aprilie*
7—9	7—9	—	—
17—22	17—22	18—22	19—22
mai	*iunie*	*iulie*	*august*
—	—	—	—
20—22	21—22	21—22	20—22
septembrie	*octombrie*	*noiembrie*	*decembrie*
—	—	7—9	7—9
19—22	18—22	17—22	17—22

Intervalele considerate ca ore de vîrf de sarcină se stabilesc anual, funcție de evoluția consumului în anii precedenți.

Să vedem cum este acoperit consumul de energie electrică într-un sistem energetic în decursul unei zile. În figura 5.2 este indicată contribuția diverselor categorii de centrale la acoperirea curbei de sarcină.



5.2. Acoperirea curbei de sarcină din diverse categorii de centrale.

Centralele electrice de termoficare a căror sarcină electrică este impusă de consumatorii de energie termică (abur), centralele hidroelectrice fără lacuri de acumulare (pe firul apei), care trebuie să utilizeze întreaga cantitate de apă care curge pe rîul respectiv, precum şi centralele termoelectrice care folosesc combustibili inferiori, vor funcţiona în permanenţă la puterea maximă pe care o pot produce (1).

Centralele electrice de termoficare, a căror sarcină electrică este impusă numai parţial de consumatorii de energie termică, care pot produce energie electrică şi pe condensaţie (folosindu-se condensatoarele de abur ale turbinelor), vor funcţiona în permanenţă la sarcina impusă de consumul termic, iar atunci cînd este nevoie vor fi încărcate şi cu puterea pe care o pot produce pe condensaţie (2). Centralele termoelectrice care folosesc combustibili superiori (hidrocarburi) vor fi încărcate după necesităţile de acoperire a consumului avîndu-se în vedere gospodărirea judicioasă a acestor combustibili. Astfel, vor fi încărcate întîi grupurile de puteri mari, care funcţionează la parametri superiori şi au randamente bune, şi după aceea grupurile mici, cu randamente mai slabe. În golurile de sarcină vor fi descărcate întîi grupurile cu randamente scăzute (dacă se justifică economic şi este posibil tehnic, sînt oprite). Se are în vedere şi felul combustibilului utilizat (păcură, gaze naturale) pentru a se economisi combustibili deficitari şi a nu se epuiza rezervele (3).

Centralele hidroelectrice cu lacuri care nu permit decît o acumulare de la o zi la alta, precum şi cele care trebuie să utilizeze zilnic o anumită cantitate de apă din lac, pentru regularizarea debitelor pe rîuri sau aprovizionarea unor captări de apă potabilă şi industrială, vor fi încărcate ţinîndu-se seamă de necesităţile de acoperire a consumului, disponibilităţile de apă şi necesitatea asigurării unor anumite debite în aval (4). În perioadele de debite mari, unele hidrocentrale care nu dispun de lacuri cu capacităţi mari de acumulare trebuie să funcţioneze uneori tot timpul la întreaga capacitate (funcţionare „în bază"), pentru a se folosi întreaga cantitate de apă şi a nu se ajunge în situaţia ca aceasta să fie deversată fără a fi trecută prin turbine.

Vîrfurile de sarcină ale sistemului sînt acoperite din aşa-numitele centrale de vîrf (5). Acestea sînt în mare majoritate centrale hidroelectrice cu lacuri de acumulare, construite pe rîuri ale căror debite asigură funcţionarea centralei, la plină sarcină, numai pentru cîteva ore pe zi.

Pentru acoperirea vîrfurilor de sarcină, în special a vîrfului de seară, trebuie să existe în centralele sistemului o rezervă de putere. Cu cît puterea cerută de consumatori la vîrful de seară este mai mare faţă de puterea medie consumată în decursul a 24 de ore, cu atît această rezervă trebuie să fie şi ea mai mare. Cheltuielile legate de mărirea puterii centralelor, instalarea de grupuri suplimentare sau construirea de centrale noi, sînt foarte mari. Energia electrică produsă pentru acoperirea acestor vîrfuri este foarte scumpă, atît datorită cheltuielilor de investiţii suplimentare pentru asigurarea unor rezerve de putere care nu sînt folosite decît perioade scurte de timp, cît şi datorită faptului că este necesară şi încărcarea centralelor neeconomice care folosesc combustibili superiori. De multe ori este necesar ca această energie să fie importată.

Energia electrică produsă pentru acoperirea vîrfului de sarcină costă cel mai scump. De aceea se caută, prin toate mijloacele posibile, să se realizeze pe ansamblul sistemului un consum de energie electrică cît mai uniform distribuit în decursul celor 24 de ore, fără vîrfuri şi fără goluri de sarcină mari (aplatisarea curbei de sarcină). Cu cît abaterile faţă de puterea medie consumată în cele 24 de ore ale zilei vor fi mai mici (curba de sarcină va fi mai aplatisată), cu atît consumul va putea fi mai bine acoperit, iar funcţionarea sistemului energetic va fi mai economică.

Principalele măsuri prin care se realizează aplatisarea curbei de sarcină a sistemului sînt următoarele :

— funcţionarea a cît mai multe întreprinderi industriale în trei schimburi, cît mai uniform încărcate ;

— stabilirea pentru fiecare întreprindere a unor limite de consum, atît ca putere (puterea maximă pe care o pot consuma la vîrfurile de sarcină, puterea maximă pe care o pot consuma în afara acestora), cît şi ca energie pe diferite perioade de timp (decadă, lună, trimestru) ;

— funcţionarea numai în afara perioadelor de vîrf de sarcină, în special în orele de gol, a consumatorilor care permit, pe baza procesului lor tehnologic, o funcţionare de numai cîteva ore pe zi (consumatori tampon, cum ar fi unele instalaţii din fabricile de ciment, din industria chimică, cuptoare electrice, irigaţii etc.) ;

— interzicerea funcţionării în perioada vîrfurilor de sarcină a unor aparate şi instalaţii consumatoare de energie electrică care nu necesită o funcţionare continuă (pentru încălzire, prepararea apei calde, pompare etc.) ;

— începerea lucrului în întreprinderile industriale la ore diferite ;

— schimbarea orei în perioada de vară. Mutarea acelor ceasornicelor cu o oră înainte, primăvara, are ca efect folosirea pe o perioadă mai mare de timp din cursul serii a iluminatului natural şi micşorarea sarcinii maxime a sistemului. Vîrful de sarcină de seară are loc cu o oră mai devreme, cînd afară este încă lumină, şi este mai mic, comparativ cu situaţia în care ora ar fi rămas aceeaşi din timpul iernii ;

— preţuri de vînzare a energiei electrice stimulative, diferenţiate pentru perioadele de vîrf şi de gol de sarcină ;

— interconectarea sistemelor energetice. Funcţionarea în paralel a sistemelor care au curbe de sarcină diferite conduce la aplatisarea curbei de sarcină totale.

În ţările capitaliste, unde unele contradicţii dintre interesele întreprinderilor furnizoare de energie electrică şi interesele consumatorilor nu permit utilizarea tuturor acestor mijloace, stabilirea unor preţuri de vînzare diferenţiate rămîne ca principal mijloc pentru realizarea unei aplatisări a curbei de sarcină. De asemenea, în majoritatea ţărilor se recurge la stabilirea unei alte ore pentru perioadele de vară faţă de perioadele de iarnă.

Cei doi parametri caracteristici ai energiei electrice : frecvenţa şi tensiunea

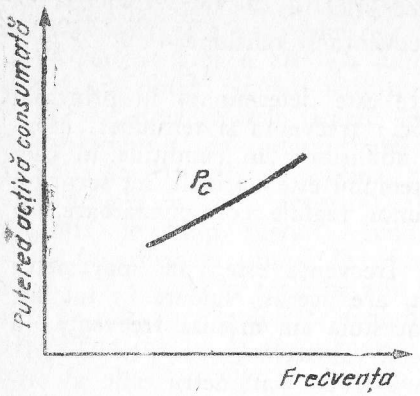
Calitatea energiei electrice este determinată în principal de doi parametri caracteristici : frecvenţa şi tensiunea. Menţinerea acestora în limitele admisibile, în condiţiile în care regimul de funcţionare a sistemului este variabil, nu se poate face decît prin realizarea unor reglaje corespunzătoare, de frecvenţă şi tensiune.

Într-un sistem energetic, frecvenţa este un parametru unic, care, în orice moment, are aceeaşi valoare în tot sistemul. În oricare punct al acestuia am măsura frecvenţa, la un moment dat, am găsi aceeaşi valoare.

În schimb, tensiunea nu este un parametru unic al sistemului energetic. Ea nu are, în orice moment, aceeaşi valoare în diferite puncte (de aceeaşi tensiune nominală) ale acestuia.

Puterea activă absorbită de foarte mulţi consumatori depinde de frecvenţa la care funcţionează aceştia. Astfel, dacă frecvenţa este de 50 Hz, un motor care antrenează o pompă centrifugă se va roti cu o anumită turaţie şi va consuma o anumită putere activă. Dacă frecvenţa curentului va scădea la 49 Hz, va scădea corespunzător şi turaţia motorului. Pompa se va roti şi ea mai încet şi va pompa într-o unitate de timp o cantitate mai mică de apă decît înainte, deci va efectua un lucru mecanic mai mic. Cantitatea de energie electrică activă absorbită de la reţea de către motor în unitatea de timp (puterea activă absorbită) va fi mai mică la frecvenţa de 49 Hz decît frecvenţa de 50 Hz. Dacă aceasta scade la 48 Hz, pompa se va roti şi mai încet, va pompa într-o secundă o cantitate şi mai mică de apă, iar puterea activă absorbită de motor de la reţea va scădea şi mai mult. Puterea activă absorbită din sistem de majoritatea motoarelor electrice se micşorează odată cu scăderea frecvenţei şi se măreşte odată cu creşterea acesteia. Mai sînt şi alţi consumatori la care puterea activă absorbită depinde de frecvenţa curentului electric.

Sînt însă unii consumatori la care puterea activă absorbită nu depinde de frecvenţă, dar depinde de tensiune. Spre exemplu, o rezistenţă pentru încălzire sau o lampă electrică cu filament incandescent (bec electric), la care dacă scade tensiunea scade şi curentul care le parcurge ; radiatorul va



5.3. Variația puterii active consumate funcție de frecvență.

încălzi mai puțin, iar becul va lumina mai slab. Puterea activă absorbită de la rețea va fi mai mică.

Pe ansamblul sistemului, puterea activă absorbită la un moment dat de totalitatea consumatorilor depinde în foarte mare măsură de frecvența din acel moment și într-o măsură mult mai mică de tensiune. În diagrama din figura 5.3 este arătată dependența de frecvență a consumului de putere activă dintr-un sistem energetic. Se vede că puterea activă variază aproximativ după o dreaptă înclinată ; puterea activă absorbită crește odată cu frecvența.

Puterea activă produsă de generatoarele din sistem este în orice moment egală cu puterea activă care se consumă. Nu se poate consuma mai mult decît se produce. Puterea furnizată generatoarelor de către turbinele care le antrenează acoperă atît puterea activă produsă de generatoare la borne, cît și diferitele pierderi care au loc în acestea prin frecare, încălzirea bobinajului etc. Sistemul funcționează la o valoare stabilă a frecvenței, să zicem 50 Hz. La un moment dat, spre exemplu, în rețea este pus în funcțiune un consumator de putere mare, care va absorbi și el o putere activă. Deoarece în primul moment nu a umblat nimeni la turbinele din centrale pentru a mări puterea furnizată de ele generatoarelor (mărirea debitului de abur sau apă) acestea vor debita în continuare în rețea aceeași putere activă. Dacă puterea activă produsă în sistem rămîne neschimbată atunci nici cea consumată nu poate să crească. De unde va lua totuși

puterea necesară funcționării acest nou consumator care, odată conectat la rețea, va funcționa și va consuma o putere activă ?

El va consuma această putere pe seama micșorării puterii active absorbite de ceilalți consumatori din sistem ca urmare a scăderii frecvenței. Prin apariția unei sarcini suplimentare s-a produs un dezechilibru între puterea activă cerută de consumatori și cea produsă de centrale. Cum nu se poate însă consuma mai mult decît se produce, frecvența în sistem scade imediat, pînă la valoarea la care micșorarea puterii absorbite de ceilalți consumatori este egală cu puterea absorbită de noul consumator. Egalitatea între puterea produsă și puterea consumată se păstrează pe ansamblul sistemului, dar la o altă frecvență, care este mai mică de 50 Hz. Pentru ca aceasta să crească din nou la 50 Hz trebuie ca, odată sesizată scăderea frecvenței, să se acționeze asupra turbinelor astfel încît puterea activă produsă de centrale să crească cu o valoare egală cu valoarea puterii absorbită de noul consumator.

Același lucru se întîmplă și dacă, la un moment dat, iese din funcțiune un generator dintr-o centrală. Frecvența în sistem va scădea pînă la valoarea la care puterea activă consumată în sistem va fi egală cu puterea produsă de grupurile rămase în funcțiune. Pentru ca frecvența să revină la valoarea inițială trebuie ca sarcina grupului declanșat să fie preluată de grupurile rămase în funcțiune sau să fie pornite din rezervă alte grupuri. În schimb, dacă iese din funcțiune un consumator de putere mare frecvența în sistem va crește și pentru a fi readusă la valoarea inițială este necesar să se reducă puterea produsă de centrale cu o valoare egală cu a consumului care a dispărut.

Astfel, atunci cînd consumatorii solicită o putere activă mai mare decît cea produsă de centrale, frecvența în sistem scade, iar atunci cînd consumatorii solicită o putere activă mai mică decît cea produsă, frecvența crește. Ea va crește sau va scădea pînă cînd se atinge valoarea la care puterea consumată este egală cu puterea produsă.

În sistemul energetic reglajul frecvenței trebuie făcut în permanență. La scăderea acesteia, centralele trebuie încărcate cu putere activă, iar la creșterea ei trebuie descărcate,

astfel încît frecvența să fie menținută la valoarea normală de funcționare.

Grupurile din centralele electrice sînt înzestrate cu regulatoare de turație, care măresc sau micșorează admisia aburului sau apei în turbină la scăderea sau creșterea turației acesteia. Cum turația generatorului, deci și a turbinei, este riguros legată de frecvență, la scăderea acesteia grupul se va încărca automat cu putere activă, iar la creșterea ei se va descărca automat.

În sistemele energetice moderne, reglajul frecvenței realizat de regulatoarele de turație este însă insuficient. Acestea nu pot asigura singure un reglaj fin și o repartiție optimă a puterii între centralele sistemului. Frecvența fiind un parametru unic al întregului sistem, reglajul ei se realizează centralizat, de către o instalație automată de reglaj instalată în punctul de unde este condusă operativ funcționarea întregului sistem. Funcție de abaterile frecvenței de la valoarea la care trebuie reglată, ea stabilește cu cît trebuie încărcată sau descărcată fiecare centrală din sistem care participă la reglajul frecvenței și prin telecomandă realizează automat încărcarea sau descărcarea acestora.

Dacă sistemul respectiv funcționează interconectat cu alte sisteme, lucrurile sînt mai complicate. Instalația automată de reglaj trebuie să supravegheze și puterea activă care circulă prin liniile de interconexiune cu celelalte sisteme și să comande încărcarea sau descărcarea centralelor atît în funcție de abaterile frecvenței de la valoarea de reglaj, cît și în funcție de abaterile de la valorile stabilite ale circulațiilor de putere activă prin aceste linii (reglaj automat frecvență-putere de schimb). În multe cazuri reglajul automat centralizat al frecvenței, sau al frecvenței-puterii de schimb, este realizat de către calculatoarele de proces de la punctele de conducere operativă a sistemului.

Ce se întîmplă însă într-un sistem atunci cînd puterea activă cerută de consumatori este mai mare decît aceea pe care o pot produce centralele ?

Pe măsură ce consumul crește, grupurile din centrale vor fi încărcate, pentru a se menține frecvența la valoarea normală de funcționare. Se poate ajunge la un moment dat în situația în care centralele sînt încărcate la maximum de putere activă pe care o pot produce, dar sarcina cerută de consumatori crește în continuare. Deoarece nu se mai poate mări puterea produsă, frecvența în sistem va scădea. Pe măsură ce solicitările de putere activă din partea consumatorilor cresc, frecvența scade tot mai mult. Scăderea acesteia sub anumite limite tehnice este extrem de periculoasă pentru funcționarea sistemului. Astfel, la o scădere cu mai mult de 2 Hz față de valoarea nominală (50 Hz în cazul majorității sistemelor) productivitatea pompelor și ventilatoarelor din centrale scade foarte mult (din cauza micșorării turației motoarelor electrice care le antrenează), ceea ce conduce la o micșorare a puterii active produse de centrale și la o scădere și mai accentuată a frecvenței. La un moment dat pompele se pot desamorsa, alimentarea cu apă a cazanelor se întrerupe, iar grupurile din termocentrale încep să iasă din funcțiune. Se produce o scădere rapidă și continuă a frecvenței (numită și *avalanșe de frecvență*) și sistemul se prăbușește.

Scăderea rapidă și cu valori mari a frecvenței se poate produce și în cazurile în care toate centralele funcționează încărcate la maxim, în sistem nu mai există rezerve de putere, și iese din funcțiune accidental o centrală cu o putere mare.

Pentru a nu se ajunge la scăderea frecvenței la valori periculoase se iau o serie de măsuri pentru menținerea acesteiea în limitele în care grupurile din centrale nu sînt în pericol de a ieși din funcțiune. În cazul în care au fost folosite toate rezervele din centrale și frecvența continuă să scadă, singurul mijloc de a salva sistemul constă în reducerea consumului astfel încît frecvența să revină în limite nepericuloase de funcționare.

În cazurile în care se poate prevedea din timp apariția deficitului de putere, reducerea consumului se face prin limitarea puterii pe care o pot absorbi din sistem diverși consumatori (efectuarea de limitări la consumatori, prin anunțare). Dacă însă deficitul de putere apare rapid și nu mai este timp pentru anunțarea consumatorilor, reducerea consumului nu se poate face decît prin deconectarea de la rețea a unor consumatori la care întreruperea alimentării cu energie electrică are cele mai mici repercusiuni asupra procesului de producție, pentru a putea fi menținută alimentarea în continuare a consumatorilor la care întreruperea acesteia

are consecinţe grave asupra procesului de producţie şi provoacă pagube mari.

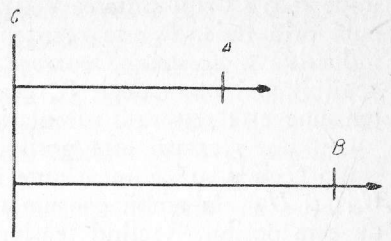
Deoarece în majoritatea cazurilor scăderea frecvenţei are loc foarte repede, singura cale de evitare a unor avarii foarte grave de sistem constă în deconectarea automată rapidă a unor consumatori, pentru restabilirea unui echilibru între puterea consumată şi puterea produsă. Aceasta se face cu ajutorul *dispozitivelor automate de descărcare a sarcinii la scăderea frecvenţei (DASf)*, montate în staţii sau chiar la consumatori. În unele cazuri este necesar, alături de descărcarea automată a sarcinii de către DAS-uri, să se efectueze şi o descărcare manuală a acesteia, prin deconectarea unor consumatori de către personalul de serviciu din staţii şi reţele.

Descărcarea sarcinii, atît automată cît şi manuală, se face în tranşe, la atingerea unor anumite limite de frecvenţă (de obicei, pînă la trei-patru tranşe pentru DASf şi pînă la cinci-şase tranşe pentru descărcarea manuală). Ea nu se face la întîmplare. Liniile de consum care vor fi deconectate în caz de necesitate, grupate pe tranşe, sînt nominalizate în aşa-numitele *normative DASf şi normative de deconectări manuale rapide.*

În toate sistemele energetice din lume, descărcarea sarcinii, atît automată cît şi manuală, este utilizată ca fiind singurul mijloc de salvare a sistemului în cazul în care au fost epuizate toate celelalte mijloace pentru evitarea ieşirii parametrilor de funcţionare în afara limitelor admise şi atingerea unor valori periculoase care pot conduce la căderea întregului sistem. Descărcarea sarcinii trebuie făcută prompt şi cu valorile necesare pentru redresarea situaţiei, orice ezitare putînd avea consecinţe deosebit de grave.

În cazul în care un sistem energetic funcţionează interconectat cu alte sisteme, apariţia unui deficit de putere activă în acesta va conduce atît la scăderea frecvenţei pe ansamblul sistemelor cît şi la încărcarea liniilor prin care sistemul respectiv este legat de celelalte (deficitul de putere fiind acoperit prin preluarea acesteia din celelalte sisteme, prin liniile de legătură). Dacă sistemul în care a apărut deficitul dispune de rezerve de putere activă în centrale, prin încărcarea acestora se vor restabili atît frecvenţa cît şi circulaţiile pe liniile de interconexiune ; dacă rezervele au fost epuizate, frecvenţa va fi restabilită prin încărcarea centra-

5.4. Alimentarea a doi consumatori din barele unei staţii.



lelor din sistemele care mai au rezerve, dar circulaţiile pe liniile de interconexiune ale sistemului deficitar cu celelalte vor creşte, putîndu-se ajunge la depăşirea unor valori periculoase pentru funcţionarea stabilă a sistemului. În cazurile în care în sistemul deficitar au fost folosite toate rezervele din centrale şi circulaţiile pe liniile de interconexiune continuă să crească, singurul mijloc de a evita depăşirea limitelor periculoase constă în reducerea consumului.

Tensiunea nefiind un parametru unic al sistemului, cum este frecvenţa, reglajul acesteia prezintă particularitatea şi totodată dificultatea că nu poate fi realizat centralizat pentru toate punctele din sistem. Menţinerea tensiunilor în limitele admisibile la bornele tuturor consumatorilor nu poate fi realizată decît prin combinarea unui reglaj centralizat, care are rolul de a menţine un anumit nivel al tensiunilor în punctele principale ale sistemului, cu un reglaj local, care are rolul de a menţine tensiunile din diferite puncte ale reţelei în limitele stabilite.

Spre exemplu, doi consumatori (A şi B) sînt alimentaţi din barele staţiei unei centrale electrice (C) prin două linii CA şi CB (fig. 5.4). Deoarece nici sarcina consumatorilor şi nici lungimea liniilor nu este aceeaşi, căderile de tensiune pe aceste linii vor fi diferite.

Dacă la barele staţiei C tensiunea (U_C)este aceeaşi pentru ambele linii, la consumatori tensiunile vor fi diferite. Astfel la consumatorul A tensiunea (U_A) va fi egală cu U_C minus căderea de tensiune pe linia CA, iar la consumatorul B tensiunea (U_B) va fi egală cu U_C minus căderea de tensiune pe linia CB. Căderea de tensiune pe linie poate fi calculată, cu o mică aproximaţie, cu formula

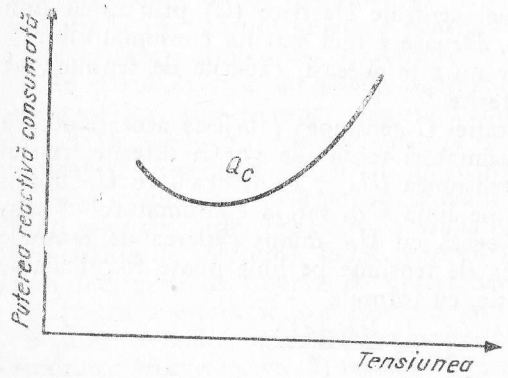
$$\Delta U = \frac{PR+QX}{U}$$

unde P și Q sînt puterea activă și puterea reactivă care circulă prin linie, R este rezistența liniei, iar X este reactanța inductivă a acesteia. Deoarece la majoritatea liniilor X este sensibil mai mare decît R, cea mai mare parte a căderii de tensiune este datorată circulației de putere reactivă.

În unele cazuri este posibil ca prin reglarea tensiunii la stația C să poată fi menținute în limitele admisibile tensiunile U_A și U_B la ambii consumatori. În alte cazuri acest lucru nu este posibil. Reglînd tensiunea la stația C pentru a menține tensiunea la consumatorul A în limitele admisibile, tensiunea la consumatorul B va ieși în afara acestora, iar dacă o vom regla astfel încît să fie satisfăcut consumatorul B, nu va mai fi satisfăcut consumatorul A. În aceste cazuri nu este suficient numai reglajul centralizat al tensiunii la stația C, ci este necesară și realizarea unui reglaj local, în unul din punctele A, B sau chiar în amîndouă.

Am văzut că puterea activă absorbită de consumatori depinde în foarte mare măsură de valoarea frecvenței și într-o măsură mult mai mică de valoarea tensiunii. În schimb puterea reactivă absorbită de consumatorii din sistem depinde în foarte mare măsură de valoarea tensiunii și într-o măsură mult mai mică de valoarea frecvenței.

În diagrama din figura 5.5 este arătată dependența de tensiune a puterii reactive absorbită de consumatorii din sistem. Se observă că odată cu scăderea tensiunii puterea reactivă absorbită de consumatori scade pînă cînd tensiunea atinge o anumită valoare (tensiunea critică) după care, dacă



5.5. Variația puterii reactive consumate funcție de tensiune.

aceasta scade în continuare, puterea reactivă absorbită de consumatori crește pe măsură ce tensiunea scade.

Dacă puterea reactivă solicitată de consumatori este mai mare decît cea produsă, tensiunea va scădea pînă cînd, prin scăderea puterii reactive consumate, se va restabili din nou echilibrul, dar la o tensiune mai mică. Pentru ca tensiunea să revină la valoarea inițială trebuie ca generatoarele din centrale să fie încărcate cu putere reactivă prin mărirea curentului de execuție.

Dacă deficitul de putere activă provoacă scăderea frecvenței, deficitul de putere reactivă provoacă scăderea nivelului tensiunilor. Spre deosebire de frecvență, care scade la aceeași valoare în tot sistemul, indiferent de zona în care a apărut cererea suplimentară de putere activă, deficitul de putere reactivă care apare într-o zonă provoacă scăderea accentuată a tensiunii numai în zona respectivă, în restul sistemului aceasta resimțindu-se mult mai puțin sau chiar deloc. Un deficit general de putere reactivă provoacă însă o scădere a nivelului tensiunilor în tot sistemul. Se poate ajunge în situația în care rezervele au fost epuizate dar consumatorii solicită în continuare tot mai multă putere reactivă. Deoarece producția de putere reactivă nu mai poate fi mărită, va scădea nivelul tensiunilor. Scăderea acestuia sub limitele admise în anumite puncte ale sistemului este foarte periculoasă. Astfel, dacă tensiunea atinge valoarea critică, din acel moment orice scădere cît de mică a acesteia provoacă o creștere a puterii reactive consumată ; aceasta va determina o nouă scădere a tensiunii care, la rîndul său, provoacă o creștere a puterii reactive consumate ; aceasta va și așa în continuare. Se produce o scădere continuă și rapidă a tensiunii (numită *avalanșe de tensiune*) și sistemul se poate prăbuși.

În cazul în care au fost folosite toate rezervele de putere reactivă și tensiunea continuă să scadă, singurul mijloc de a salva sistemul constă, ca și în cazul scăderii frecvenței, în reducerea consumului. Aceasta se face automat, prin acționarea *dispozitivelor automate de descărcare a sarcinii la scăderea tensiunii* (*DAS-U*), liniile de consum care vor fi deconectate fiind nominalizate în *normativele DAS-U*, și manual, conform *normativelor de deconectări manuale rapide*.

Ca și reglajul frecvenței, în sistemul energetic reglajul tensiunii trebuie făcut în permanență. Grupurile din centralele electrice sînt înzestrate cu regulatoare automate de ten-

siune care, atunci cînd aceasta scade, măresc excitaţia generatoarelor. Pentru producerea de putere reactivă şi reglajul tensiunii, în anumite puncte ale reţelei sînt instalate compensatoare sincrone (motoare electrice sincrone, care funcţionează în gol, construite special pentru a produce putere reactivă şi nu pentru a antrena vreun utilaj) sau baterii de condensatoare. Prin producerea locală de putere reactivă se descarcă reţelele de transportul acesteia, căderile de tensiune în linii vor fi mai mici, pierderile de putere activă în reţele datorită transportului de putere reactivă vor scădea, iar tensiunile vor putea fi menţinute în limitele admisibile. Pentru reglajul tensiunilor sînt folosite de asemenea şi transformatoarele (autotransformatoarele) cu comutatoare de ploturi, în special pentru realizarea unui reglaj local. În reţeaua de transport se folosesc pentru reglajul tensiunii şi bobinele de compensare, care absorb puterea reactivă produsă de liniile lungi de foarte înaltă tensiune. Unele dintre acestea pot fi scoase din funcţiune cînd nivelul tensiunilor în reţea scade şi repuse în funcţiune cînd nivelul tensiunilor este prea mare.

Regimurile de funcţionare a sistemului energetic

Regimurile de funcţionare a unui sistem energetic (nivelul tensiunilor în punctele caracteristice ale acestuia, circulaţiile de putere activă şi reactivă prin elementele reţelei de transport, puterile active şi reactive debitate de centralele electrice sau absorbite de consumatori în diferitele noduri ale reţelei etc.) pentru diverse configuraţii (elemente din reţea sau centrale retrase din exploatare pentru revizii, reparaţii sau probe, realizarea unor configuraţii care, în anumite situaţii, să permită evacuarea puterii din unele centrale prin reţeaua de transport şi alimentarea în condiţii normale a unor consumatori etc.), atît în funcţionarea normală cît şi în diverse cazuri de avarie, sînt infinite.

Regimul în care funcţionează un sistem se schimbă de la moment la moment, chiar în funcţionarea normală fără perturbaţii majore. Sarcina sistemului se modifică în permanenţă, circulaţiile de puteri şi curenţi prin elementele reţelei se schimbă continuu, tensiunile în diverse puncte cresc sau scad, iar frecvenţa variază tot timpul. Toate aceste modificări se produc însă lent, regimul de funcţionare al sistemului nu se schimbă brusc. Atunci cînd se produc însă avarii care scot din funcţiune elemente din centrale sau reţea, care prezintă importanţă pentru funcţionarea sistemului (grupuri cu puteri mari, linii de legătură între diverse părţi ale sistemului sau cu alte sisteme, staţii sau centrale importante), regimul de funcţionare a sistemului se schimbă rapid, putîndu-se ajunge uneori la regimuri în care siguranţa în funcţionare a acestuia este redusă. Trebuie luate imediat măsuri pentru a se ajunge într-un regim care să prezinte maximum de siguranţă posibil pentru funcţionarea în continuare a sistemului, lucru nu întotdeauna uşor de realizat.

Regimurile de funcţionare a sistemului sînt calculate şi analizate în permanenţă (pentru ziua sau zilele următoare — regimuri curente — pentru sezoanele şi anii următori — regimuri de perspectivă) pentru a se realiza cea mai sigură şi economică funcţionare.

Nici un element care prezintă importanţă pentru funcţionarea sistemului energetic sau reţelei electrice nu poate fi scos din funcţiune (pentru revizii, reparaţii sau probe) fără ca în prealabil să fie calculate şi analizate regimurile de funcţionare a sistemului în lipsa elementelor care se retrag din exploatare şi fără să fie stabilite măsurile care trebuie luate pentru asigurarea în permanenţă a unui regim sigur şi economic.

O problemă vitală : stabilitatea sistemului energetic. Ce sînt „pendulaţiile ?" Dar „insularizările ?"

O problemă de foarte mare importanţă cu care se confruntă exploatarea sistemelor energetice este asigurarea funcţionării stabile a acestora (asigurarea stabilităţii sistemului energetic). Oricare dintre noi, cu mai mulţi sau mai puţini ani în urmă, am făcut diverse construcţii din cubuleţe. Pe măsură ce construcţia se înălţa, asigurarea stabilităţii acesteia devenea tot mai dificilă. Realizam uneori cîte o construcţie foarte înaltă şi frumoasă, dar era suficientă o mică zguduitură sau un curent de aer, pentru ca ea să se prăbuşească. Şi ce mîndri ne simţeam atunci cînd realizam o construcţie şi înaltă, şi frumoasă, pe care nu o putea dărîma

nici măcar o trepidație puternică sau un curent intens de aer. Ba mai mult, puteam să luăm din diverse puncte ale ei cîte un cubuleț, sau chiar mai multe, fără să se prăbușească. Fără să știm despre ce este vorba realizam în aceste cazuri construcții cu un înalt grad de stabilitate.

Un sistem energetic este ca un edificiu gigantic, compus din mii și mii de piese, astfel realizat încît din el să poată fi scoase diferite elemente și să poată suporta zguduituri și vînturi puternice, fără să se prăbușească.

Configurațiile și regimurile de funcționare, protecțiile prin relee și automatizările, reglajele acestora, rezervele de funcționare etc. trebuie să fie astfel alese încît, chiar la apariția unor perturbații mari, la ieșirea din funcțiune a unor elemente importante din centrale și rețele, precum și la apariția unor scurtcircuite, să fie asigurată funcționarea în continuare a sistemului.

Sistemele energetice moderne sînt astfel dimensionate încît să nu fie în pericol de cădere la ieșirea accidentală din funcțiune a celei mai mari centrale sau a celui mai important nod din rețea, chiar în condițiile în care sînt scoase din funcțiune pentru revizii, reparații, probe, sau accidental, și alte elemente (grupuri, linii, bare etc.) importante. Un sistem energetic se poate prăbuși numai dacă se întîmplă să coincidă ieșirea din funcțiune accidentală a unui șir de elemente vitale ale acestuia (centrale mari, linii importante de transport, noduri însemnate ale rețelei), suprapusă uneori peste un regim anormal de funcționare a sistemului (frecvență scăzută, nivelul tensiunilor scăzut, multe elemente importante scoase din funcțiune), coincidență nedorită dar și cu o probabilitate extrem de redusă. Cu cît un sistem energetic este mai larg dimensionat, dispune de rezerve de putere mai mari în centrale iar parametrii de funcționare (frecvență, tensiuni) sînt menținuți în limite normale, cu atît pericolul este mai mic.

Pierderea stabilității sistemului este cea mai grea avarie, deoarece conduce la apariția unor pendulații ale puterilor între centrale care se amplifică din ce în ce mai mult, la variații mari ale tensiunilor, la supraîncărcarea și declanșarea unor linii de legătură între diferite părți ale sistemului, la ieșirea din funcțiune a unor centrale și, în final, la desmembrarea și prăbușirea întregului sistem și la întreruperea alimentării tuturor consumatorilor. Pagubele produse economiei într-o asemenea situație sînt foarte mari, cu atît mai importante cu cît durata de restabilire a funcționării normale este mai mare.

Repunerea în funcțiune a unui sistem energetic care s-a prăbușit este o treabă foare complicată, care durează ore sau zeci de ore. Sistemul trebuie refăcut pas cu pas, trecîndu-se printr-o serie întreagă de configurații intermediare, din ce în ce mai complexe, cu regimuri foarte greu de stăpînit. Au fost cazuri, la căderea unor sisteme energetice chiar din țări cu energetică foarte dezvoltată, în care după refacerea unei bune părți din sistem aceasta s-a prăbușit din nou și a trebuit reluat totul de la început.

Pentru a putea repune în funcțiune un sistem care a căzut total (centralele au ieșit din funcțiune, stațiile sînt fără tensiune, consumatorii sînt nealimentați), trebuie asigurată în primul rînd alimentarea serviciilor interne de curent alternativ ale centralelor, pentru ca acestea să poată fi repuse în funcțiune. Dacă tensiunea lipsește în tot sistemul, refacerea este foarte dificilă și durează mult.

Se repun întîi în funcțiune una sau mai multe hidrocentrale. Acestea, spre deosebire de centralele termoelectrice, se pot reporni în cîteva minute și au nevoie de puteri mici pentru serviciile interne (acționări de vane etc.). O serie de hidrocentrale din sistem sînt prevăzute cu grupuri electrogene (generatoare de putere mică, acționate de motoare cu explozie) care pot fi pornite rapid și pot alimenta serviciile interne vitale. Odată reușită repunerea în funcțiune a uneia sau a mai multor centrale „se dă tensiune" din acestea la alte centrale, pentru alimentarea serviciilor interne și repornirea cazanelor și grupurilor. Se repun treptat în funcțiune liniile de legătură între diverse stații și centrale, stațiile, liniile de distribuție, se realimentează consumatorii (dîndu-se prioritate celor ale căror procese tehnologice au cel mai mult de suferit de pe urma întreruperii alimentării sau prezintă o importanță deosebită), se repornesc alte centrale, se realimentează alți consumatori, și sistemul începe să se refacă.

De multe ori se refac întîi zone care funcționează izolat, acestea trebuind să fie apoi interconectate între ele, operație dificilă în condițiile în care regimul lor de funcționare este foarte greu de stăpînit.

Păstrarea în tot acest timp a unui echilibru între puterea pe care o furnizează centralele care au fost repuse în funcţiune pînă în acel moment şi consumul care a fost realimentat (pentru ca frecvenţa să poată fi menţinută în anumite limite), a unor circulaţii nepericuloase pe liniile de interconexiune, a unor nivele de tensiune în limite admisibile, asigurarea stabilităţii părţii din sistem care a fost refăcută şi a zonelor care funcţionează încă izolat etc., este o treabă extrem de dificilă.

În cazurile în care la scăderea sistemului se menţin în funcţiune unele zone ale acestuia sau unele centrale (care continuă să funcţioneze izolat, alimentînd unul sau mai mulţi consumatori din zona lor), refacerea sistemului este uşurată, existînd surse în funcţiune din care pot fi alimentate mai repede serviciile interne ale centralelor care trebuie repornite. Cînd este posibil, pentru alimentarea unor zone din sistem şi a serviciilor interne a unor centrale, se preia putere din sistemele vecine, prin liniile de legătură cu acestea.

Avînd în vedere implicaţiile deosebit de grave (atît pe plan economic cît şi social) pe care le are prăbuşirea sistemului energetic şi întreruperea alimentării tuturor consumatorilor, dificultăţile foarte mari care apar la refacerea acestuia, precum şi durata mare a revenirii la o funcţionare normală, în toate sistemele energetice din lume se iau toate măsurile posibile pentru evitarea căderii acestora. Atunci cînd situaţia o impune (scăderea frecvenţei sau tensiunii sub limitele admise, depăşirea limitelor periculoase ale circulaţiilor prin liniile de interconexiune, apariţia pendulaţiilor şi pericolului de pierdere a stabilităţii sistemului), pentru menţinerea în funcţiune a sistemului şi alimentarea în continuare a majorităţii consumatorilor se recurge şi la reducerea consumului, prin întreruperea alimentării unei părţi din consumatori.

Dacă sistemul energetic este menţinut în funcţiune, chiar în condiţii de funcţionare diferite de cele normale, în majoritatea cazurilor este posibil ca după un timp scurt să se realimenteze consumatorii cu o putere redusă (necesară pentru asigurarea continuităţii unor procese tehnologice a căror reluare ar fi dificilă, precum şi pentru asigurarea iluminatului, ventilaţiei etc., strict necesare anumitor consumatori), numită şi *putere minimă de avarie*. În aceste condiţii, revenirea la o funcţionare normală şi alimentarea integrală a consumatorilor sînt incomparabil mai uşoare decît în cazul prăbuşirii sistemului. Dacă acesta cade este întreruptă alimentarea tuturor consumatorilor, nu se mai pot asigura nici măcar puterile minime de avarie, iar refacerea sistemului şi alimentarea consumatorilor poate dura foarte mult.

Apariţia *pendulaţiilor* într-un sistem sau o zonă a acestuia este un fenomen foarte periculos, deoarece dacă acestea se amplifică pot conduce la ieşirea din funcţiune a grupurilor din centrale şi la pierderea stabilităţii sistemului. Dar ce sînt aceste mult temute pendulaţii ?

Să ne imaginăm că sîntem într-un vehicul care merge cu o viteză constantă de 80 km/oră. La un moment dat, din diferite motive, acesta este accelerat pînă la 90 km/oră, după care este frînat pînă la 70 km/oră, apoi accelerat din nou pînă la 90 km/oră şi aşa în continuare. Dacă alături de el merge un alt vehicul, care îşi păstrează tot timpul viteza de 80 km/oră, vehiculul nostru o va lua cînd înainte, cînd va rămîne în urma lui, pendulînd faţă de acesta. Viteza sa medie va fi însă tot de 80 km/oră.

Şi grupurile din centrale pot pendula, rotorul acestora accelerîndu-şi şi frînîndu-şi alternativ mişcarea, luînd-o înainte şi rămînînd în urmă, succesiv, cu unghiuri de cîteva grade sau zeci de grade, faţă de rotorul unui generator care şi-ar păstra constantă viteza de rotaţie. Fenomenele care conduc la aceasta sînt destul de complexe şi ar necesita explicaţii lungi şi greu de înţeles pentru cei care nu sînt de specialitate. Puterea debitată de generator în reţea creşte şi scade succesiv (pendulează). De asemenea, tensiunea la bornele acestuia pendulează şi ea, crescînd şi scăzînd periodic. Între centrale se produce o pendulaţie de puteri de la una la alta, prin reţeaua de legătură.

Pendularea grupurilor dintr-o centrală atrage în pendulaţie grupurile din altă centrală şi aşa mai departe, fenomenul putîndu-se extinde în tot sistemul. Se va produce o pendulare a puterilor şi curenţilor prin liniile de legătură, precum şi o pendulare a tensiunilor în diverse puncte ale sistemului. Acele indicatoare ale aparatelor de măsură (wattmetre, varmetre, ampermetre, voltmetre) vor oscila lent de o parte şi de alta a valorii pe care o arătau pînă atunci, iar intensitatea luminii dată de lămpile cu filament incandenscent va creşte şi va scădea şi ea lent (creşterea şi descreşterea producîndu-se periodic, o perioadă durînd de obi-

cei cîteva secunde). Dacă avem aprinsă o lampă cu filament incandescent (un bec electric) putem să ne dăm seama că în rețea au loc pendulații după faptul că lumina dată de aceasta scade în intensitate, apoi crește, după aceea scade din nou și așa mai departe, creșterea și scăderea producîndu-se lent și în mod continuu, nu ca în cazul unui scurtcircuit în rețea, cînd intensitatea luminii scade brusc, ca după una-două secunde sau fracțiuni de secundă (timp în care scurtcircuitul este eliminat prin deconectarea circuitului defect de către protecții) să revină tot brusc la intensitatea normală. La apariția pendulațiilor este necesară luarea de urgență a tuturor măsurilor pentru amortizarea și stingerea acestora.

În unele cazuri transportul de putere dintr-o zonă a sistemului în alta, sau dintr-un sistem în altul, este limitată nu de faptul că liniile de legătură nu suportă circulații mai mari, ci de faptul că acestea nu trebuie să fie încărcate peste o anumită limită, impusă de asigurarea stabilității sistemului. Cu cît deficitul sau excedentul de putere al unei zone (diferența dintre puterea produsă și puterea consumată în zonă) este mai mare și cu cît legăturile cu restul sistemului sînt mai lungi, mai slabe și mai mult încărcate, cu atît rezerva de stabilitate este mai redusă.

În situații limită, pentru a se asigura păstrarea stabilității sistemului, sînt uneori necesare deconectări de grupuri, dacă zona este excedentară, sau reducerea consumului (deconectarea unor consumatori), dacă zona este deficitară, astfel încît circulațiile de puteri prin liniile de legătură să nu depășească valorile critice.

Pentru asigurarea păstrării parametrilor de funcționare (frecvență, tensiune) și a circulațiilor de puteri și curenți în limitele în care sistemul este stabil, numai intervenția omului nu este suficientă. Fenomenele se petrec uneori foarte rapid și posibilitățile oamenilor de a interveni sînt depășite. De aceea, în toate sistemele sînt prevăzute o serie de automatizări care concură la păstrarea stabilității acestora, unele simple, altele foarte complexe, unele acționînd local, altele cuprinzînd zone întinse, unele acționînd la ieșirea din limitele prevăzute a frecvenței, tensiunii sau circulațiilor, iar altele acționînd la apariția pendulațiilor.

Un sistem care s-a prăbușit este foarte greu de repus în picioare dacă tensiunea a dispărut din tot sistemul. De aceea se prevăd centrale sau grupuri care, în situațiile extrem de

critice în care speranțele de salvare a întregului sistem sînt foarte mici, se separă de acesta rămînînd să funcționeze izolat (în insulă) alimentînd unul sau mai mulți consumatori foarte importanți. Acțiunea de separare a căpătat denumirea de *insularizare*. Spre exemplu, spunem că „centrala „*X*" se insularizează cu zona de consum „*Y*", prin funcționarea automaticii de insularizare, la scăderea frecvenței sub 47,0 Hz, după două secunde".

În cazul unor avarii de sistem, prin insularizarea unor centrale sau grupuri rămîn în continuare alimentați unii consumatori importanți, la care întreruperea energiei electrice ar afecta grav procesele tehnologice, iar lichidarea avariei și repunerea în funcțiune a întregului sistem este foarte mult ușurată.

Într-un sistem energetic complex, alcătuit din sute sau mii de centrale și stații de puteri și caracteristici diferite, legate între ele prin mii de linii de diverse tensiuni, calcularea regimurilor de funcționare a acestuia (atît pentru situații normale cît și pentru cazurile de avarii), a curenților de scurtcircuit prin ramurile rețelei, a condițiilor de stabilitate a sistemului, a repartiției optime a sarcinii între centralele acestuia etc., este extrem de complicată și laborioasă. Aceste calcule nu se pot efectua decît cu ajutorul calculatoarelor electronice de mare capacitate și cu performanțe superioare. Fără existența acestora nu ar fi de conceput funcționarea sistemelor energetice foarte întinse și complexe din ziua de azi.

Funcționarea interconectată a sistemelor energetice naționale

În foarte multe țări, prin interconectarea diferitelor sisteme locale și regionale, s-a ajuns la un sistem energetic unic (sistem energetic național), care cuprinde tot teritoriul țării respective. Sînt însă și state în care, fie datorită întinderii teritoriale și distanțelor foarte mari între anumite centre, fie datorită unor interese ale companiilor care produc și distribuie energia electrică, nu s-au realizat sisteme energetice unice. Astfel, în S.U.A. sînt trei mari sisteme energetice, în

U.R.S.S. mai sînt încă sisteme locale mici (situate în zonele asiatice îndepărtate) care nu au fost interconectate cu sistemul principal, iar în R. P. Chineză sînt mai multe sisteme care funcţionează independent. Sînt însă şi state în care dezvoltarea energeticii fiind la început, nu s-a ajuns încă la încheierea unui sistem energetic naţional.

Pentru a se putea ajuta în caz de nevoie şi pentru ca sistemele care au deficit de energie electrică să o poată cumpăra de la cele care au surplus, multe sisteme energetice naţionale s-au interconectat între ele. Au apărut astfel grupuri de sisteme energetice care funcţionează interconectate, ca un singur sistem uriaş. Se realizează astfel o mărire a siguranţei şi economicităţii în funcţionare a fiecăruia dintre sistemele interconectate.

În caz de avarie, sistemul care are deficit de putere o poate prelua din celelalte sisteme, evitîndu-se astfel întreruperea alimentării unor consumatori.

Sistemele care au excedent de putere în golurile de sarcină, datorită faptului că dispun de multe centrale care funcţionează cu combustibili inferiori sau care nu pot fi descărcate decît în limite restrînse (centrale nucleare, hidrocentrale fără posibilităţi de acumulare, hidrocentrale cu funcţionare sezonieră), pot livra energie la un preţ redus sistemelor care dispun de centrale cu posibilităţi mai mari de reglaj (hidrocentrale cu lacuri de acumulare, termocentrale care folosesc gaze naturale, păcură etc.), lucru mai avantajos totuşi pentru ele decît descărcarea forţată a centralelor. La rîndul lor, sistemele care dispun de centrale cu posibilităţi mari de reglaj, făcînd acumulări de apă şi economii de combustibili superiori în orele de gol, pot livra celorlalte sisteme energie electrică în orele de vîrf de sarcină, la preţuri mai mari, sau pentru o anumită cantitate de energie livrată în orele de vîrf pot primi înapoi o cantitate mai mare de energie în orele de gol. Sînt folosite în acest fel mai bine posibilităţile fiecărui sistem, fapt care atrage după sine avantaje economice pentru toţi participanţii.

Sînt cazuri în care sisteme energetice învecinate care nu pot funcţiona interconectate, din cauza regimurilor de funcţionare deosebite ale acestora, au prevăzut între ele linii prin care se pot ajuta reciproc în caz de nevoie. Astfel, dacă la un moment dat într-unul din sisteme apare un deficit de

putere, o zonă de consum a acestuia poate fi separată şi alimentată din celălalt sistem, sau din sistemul care oferă ajutor pot fi separate una sau mai multe centrale şi legate la sistemul care are nevoie de putere.

Pentru livrările permanente de energie dintr-un sistem în altul cu care nu poate funcţiona interconectat, datorită diferenţei de frecvenţă, se realizează legături în curent continuu. Două sisteme legate prin linii de curent continuu pot funcţiona fiecare cu o altă frecvenţă, lucru imposibil în cazul sistemelor care funcţionează interconectate prin linii de curent alternativ şi în care frecvenţa este obligatoriu aceeaşi în orice moment.

O altă formă de colaborare este şi construirea în comun a unor centrale electrice sau a unor complexe hidroenergetice. Fiecare din ţările participante va beneficia de o cotă parte din energia produsă sau din potenţialul hidroenergetic, proporţională cu aportul său la construcţia şi exploatarea obiectivului respectiv.

Sistemele energetice ale ţărilor europene, membre C.A.E.R., deci şi sistemul nostru naţional, au fost legate între ele prin linii de 220, 400 şi 750 kV, pentru a se realiza o funcţionare interconectată, mai sigură şi mai economică pentru fiecare dintre ele. Cînd toate sistemele naţionale componente funcţionează interconectate, puterea produsă la vîrf în acest sistem uriaş se situează în jurul cifrei de 300 000 000 kW (300 000 MW). În cadrul interconexiunii fiecare ţară îşi păstrează însă independenţa în politica sa energetică şi în modul de conducere a sistemului, relaţiile între sistemele energetice naţionale şi funcţionarea acestora în comun în cadrul Sistemului Energetic Interconectat (SEI) stabilindu-se prin convenţii şi contracte încheiate între participanţi egali în drepturi şi îndatoriri. Coordonarea funcţionării sistemelor naţionale în cadrul SEI este realizată de un organism internaţional permanent (o direcţie de dispecer), cu sediul la Praga, în cadrul căreia lucrează reprezentanţi ai tuturor ţărilor participante.

Şi în Europa Occidentală sistemele energetice din majoritatea ţărilor au fost interconectate, realizîndu-se o asociaţie pentru coordonarea producerii şi transportului energiei

electrice care se întinde de la Oceanul Atlantic pînă în Austria și de la Marea Nordului pînă în Iugoslavia și Grecia. Între sistemele din această asociație și sistemele din C.A.E.R. sînt realizate cîteva legături prin linii de curent alternativ, destul de slabe însă. Aceste linii sînt utilizate numai pentru a conecta o sarcină sau o centrală la rețeaua vecină, fără ca sistemele să poată fi interconectate, din cauza regimurilor de funcționare diferite. Pentru schimburile de energie permanente între sistemele din vest și cele din est sînt necesare legături prin linii de curent continuu, care nu împiedică funcționarea sistemelor respective la frecvențe diferite.

Un sistem rezultat prin interconectarea mai multor sisteme naționale nu are însă un caracter rigid. El este rezultat din asocierea mai multor sisteme independente, care pe perioada funcționării interconectate se supun unor reguli stabilite de comun acord de către membrii asociației. Nu există organisme deasupra sistemelor naționale, care să hotărască modul de funcționare al acestora, ci numai organisme care realizează cooperarea și coordonarea între sisteme.

Nici compoziția lor nu este rigidă. Spre exemplu, dacă la un moment dat un sistem național nu poate realiza un regim de funcționare comun cu celelalte sisteme, poate ieși din paralel cu acestea și funcționa izolat o perioadă mai mare sau mai mică de timp.

Relațiile dintre sisteme sînt atît de natură tehnică (colaborare, întrajutorare) cît și de natură economică și comercială. Energia electrică, ca orice marfă, poate fi vîndută sau cumpărată, exportată sau importată. Prețul acesteia depinde de o serie de factori tehnici și economici și el este stabilit pe baza condițiilor de calitate (frecvență, tensiune, garanții) pe care partenerii și le asumă la elaborarea contractelor. Se au în vedere stimulente economice pentru acele sisteme care prin participarea lor la interconexiune ajută ansamblul sistemelor, după cum cele ce îngreunează funcționarea plătesc în anumite cazuri penalizări.

Un sistem poate, de asemenea, primi energie electrică de la un alt sistem cu care nu se învecinează, ca urmare a unor acorduri bilaterale, sistemul furnizor livrînd energia respectivă în sistemul interconectat, iar sistemul consumator preluînd-o din acesta. Sistemele prin care se face tranzitul energiei electrice percep taxe pentru aceste servicii (fie în natură, fie în bani), pentru acoperirea pierderilor suplimentare de energie care apar ca urmare a tranzitului respectiv și pentru faptul că își ocupă o parte din capacitățile sale de transport prin efectuarea acestor tranzite.

Funcționarea interconectată a sistemelor implică, pe lîngă rezolvarea a numeroase probleme tehnice, și rezolvarea multor probleme economice și comerciale, legate de importurile și exporturile de energie electrică, de transportul acesteia prin rețelele altor sisteme etc.

Cum a luat naștere Sistemul Energetic Național ?

În țara noastră, primul sistem energetic a apărut încă din secolul trecut, cînd, în anul 1899, CHE Sinaia (1 000 kW) a fost interconectată cu CTE Doftana (350 CP), ambele puse în funcțiune în 1898, printr-o linie de 8 kV pe stîlpi de lemn (CHE Sinaia este în funcțiune și astăzi, după mai bine de 85 de ani de la darea sa în exploatare).

Prin dezvoltarea sa rapidă, datorită exploatărilor de petrol din zonă, se formează sistemul energetic al Văii Prahovei, care se interconectează în 1924, printr-o linie de 60 kV, cu sistemul energetic din București, punîndu-se bazele sistemului energetic al Munteniei.

În anul 1902 apare primul sistem energetic din Ardeal, prin interconectarea a două centrale din zona Sibiului, iar în 1911 un altul în zona Alba Iulia — Sebeș.

În 1904 a intrat în funcțiune CHE Grebla (Reșița), avînd o putere mare pentru acea vreme, 4 500 kW. În 1912 au fost puse în funcțiune la CTE Grozăvești (București) două turbogeneratoare de cîte 1 000 kW. Centrala Grozăvești a fost cea mai mare centrală din țară pînă la 17 aprilie 1954, cînd CTE Doicești ajunge la 80 MW, în timp ce CTE Grozăvești avea la acea dată numai 77 MW. În 1896 apare prima linie de medie tensiune din țară (Sadu — Sibiu), 4,5 kV. În 1906 apare tensiunea de 15 kV, în 1910 tensiunea

de 25 kV și în 1924 tensiunea de 60 kV. În 1925 a fost realizată prima termoficare industrială din țară, la centrala electrică a Fabricii de Hîrtie Bușteni. În 1926 a fost pus în funcțiune la CTE Grozăvești un grup de 10,4 MW, în 1929 unul de 16 MW, iar în 1936 unul de 20 MW, cele mai mari din țară la datele respective.

Sistemele energetice locale au apărut și s-au dezvoltat în special în zonele industriale. Treptat, acestea au început să fie interconectate și au luat astfel naștere sisteme care cuprindeau zone întinse. În 1928, printr-o linie de 25 kV, a fost realizată interconexiunea sistemului Văii Prahovei cu cel al Brașovului, iar în 1931 interconexiunea dintre sistemul Sibiu și sistemul Tîrnăveni.

În noiembrie 1930 a fost pusă în funcțiune CHE Dobrești (pe rîul Ialomița) cu 4 grupuri de cîte 4 MW, care a fost cea mai mare hidrocentrală din țară pînă în octombrie 1960, cînd a fost pus în funcțiune primul grup de 27,5 MW la CHE Stejaru (Bicaz). Tot în 1930 au fost puse în funcțiune și primele linii de 110 kV din țara noastră (Dobrești — Tîrgoviște, Tîrgoviște — Grozăvești).

Prin interconectarea, în anul 1949, a sistemului Sebeș — Sibiu — Tîrnăveni cu sistemul din Munții Apuseni, se pun bazele sistemului energetic al Ardealului Central. În anul 1949 apare prima linie de legătură cu un sistem energetic al unei alte țări, linia de 60 kV Grozăvești — Giurgiu — Russe (R. P. Bulgaria), fără ca sistemele să funcționeze însă în paralel.

După naționalizare, electrificarea în România a cunoscut o dezvoltare vertiginoasă. Se construiesc centrale cu puteri din ce în ce mai mari, se dezvoltă în ritm rapid rețelele de transport și distribuție, se pornește la electrificarea satelor. În 1954 a fost pus în funcțiune primul grup de 25 MW din țară, la CTE Fîntînele (Sîngiorgiu de Pădure), în 1956 primul grup de 50 MW (CTE Paroșeni), în 1963 primul de 100 MW, la CTE Iernut (Luduș), în 1966 primul de 200 MW (CTE Iernut), în 1967 primul de 315 MW, la CET Ișalnița (Craiova) și în 1976 primul de 330 MW (CTE Rovinari). În aprilie 1977 a fost dat în exploatare, la CTE Rovinari,

primul grup de construcție românească de 330 MW. În august 1970 a fost pus în funcțiune primul grup (175 MW) de la CHE Porțile de Fier. Prima linie de 220 kV a fost pusă sub tensiune în 1963, iar prima de 400 kV în 1965.

În anul 1954, prin punerea în funcțiune a liniei 110 kV Brașov — Fîntînele, s-a realizat interconectarea sistemului energetic al Ardealului cu cel al Munteniei, punîndu-se bazele Sistemului Energetic Național (SEN), la care au fost racordate, în 1956, și zonele Olteniei de Nord și Banatului.

În ziua de 24 ianuarie 1959, la orele 16,00, a fost efectuat primul paralel între sistemul Moldovei și Sistemul Energetic Național, prin punerea în funcțiune a liniei de 110 kV Buzău — Focșani.

În 1960, zona Dobrogea este interconectată cu Sistemul Energetic Național, acesta cuprinzînd de acum toate zonele țării.

În 27. 10. 1963 a fost efectuat primul paralel al SEN cu Sistemul Energetic Interconectat (SEI) al țărilor membre C.A.E.R., printr-o linie de 220 kV între Iernut și Lemeșany (R. S. Cehoslovacă).

Locul sistemului nostru energetic în lume

Cu toate că România a fost în primele rînduri pe plan mondial în folosirea electricității, starea economică și socială înapoiată a țării noastre, datorită regimului burghezo-moșieresc, a frînat dezvoltarea electrificării României pînă prin anul 1950. La data eliberării de sub jugul fascist situația electrificării țării era destul de precară. Producția de energie electrică era mai mică decît în 1938, an în care se atinsese 1,1 miliarde kWh. Foarte multe instalații erau învechite, uzate, distruse de bombardamente sau de trupele fasciste în retragere.

Conferința Națională a P.C.R. din octombrie 1945 a stabilit măsurile pentru reconstrucția țării, între care și electrificarea și construcția de noi centrale. Datorită măsurilor luate, producția de energie electrică a sporit continuu pînă

în 1950, an în care s-au produs 2,1 miliarde kWh, dintr-o putere instalată nu cu mult mai mare decît în 1939.

În octombrie 1950, Plenara C.C. al P.C.R. adoptă planul de electrificare a țării pe zece ani (1951—1960), care a devenit lege prin votul Marii Adunări Naționale, cu următoarele linii principale : construirea de noi centrale și concentrarea producției de energie electrică în centrale mari, cu randamente ridicate, amenajarea complexă a apelor, electrificarea industriilor, transporturilor și agriculturii, pătrunderea electrificării la sate, crearea unui sistem energetic național, dezvoltarea rețelelor de transport și distribuție și valorificarea rațională a resurselor energetice prin utilizarea în centrale a combustibililor inferiori. Planul a fost realizat și depășit, în 1960 producția de energie electrică fiind de 7,65 miliarde kWh față de 7 miliarde planificate.

Congresul al IX-lea al P.C.R. din iulie 1965 a stabilit o piatră de hotar în istoria României contemporane. Dezvoltarea economică și socială din ultimii 19 ani, fără precedent în istoria țării, s-a reflectat intens în dezvoltarea energeticii.

Producția de energie electrică a fost în 1981 de 62 de ori mai mare decît în 1938, de 33 de ori mai mare decît în 1950 și de 4 ori mai mare decît în 1965 (vezi tabelul 1). Consumul de energie electrică pe locuitor a marcat și el un salt spectaculos. Dacă înainte de război era de cîteva zeci de kWh (la nivelul de azi al unor țări slab dezvoltate), în 1965 ajunsese la aproape 800 kWh, pentru ca acum să depășească 3 000 kWh. Puterea instalată în centralele electrice era la sfîrșitul anului 1981 de 33 de ori mai mare față de sfîrșitul anului 1938, de 22 ori față de sfîrșitul anului 1950 și de 5 ori față de sfîrșitul anului 1965 (vezi tabelul 1). În momentul de față dispunem de o putere instalată în centrale de peste 17 000 MW, deci de peste 0,75 kW pe locuitor. Producția de energie electrică în 1983 a fost de 70,2 miliarde kWh.

Dintr-o țară cu o producție și un consum de energie electrică reduse, România a ajuns în rîndul țărilor dezvoltate din acest punct de vedere. În tabelul 2 este prezentată producția de energie electrică (total și pe cap de locuitor) a cîtorva țări, în anul 1980.

PRODUCȚIA DE ENERGIE ELECTRICĂ ȘI PUTEREA INSTALATĂ ÎN CENTRALE

Tabel 1

Anul	*Producția (mil. kWh)*	*din care :*		*Pe locuitor (kWh)*	*Puterea* instalată (mii kW)*	*din care :*	
		termoelectrică	*hidroelectrică*			*în termocentrale*	*în hidrocentrale*
1938	1 130	982	148	72	501	453	48
1950	2 113	1 944	169	130	740	680	60
1965	17 215	16 210	1 005	905	3 258	2 797	461
1975	53 721	45 009	8 711	2 529	11 578	8 945	2 632
1980	67 486	54 849	12 637	3 040	16 109	12 654	3 455
1981	70 138	57 401	12 737	3 138	16 612	13 079	3 533

* la sfîrșitul anului

Sursa : Anuarul statistic al R.S.R., 1982.

PRODUCȚIA DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN ANUL 1980

Tabelul 2

Țara	Total (milioane kWh)	Pe locuitor (kWh)	Țara	Total (milioane kWh)	Pe locuitor (kWh)
Argentina	35 712	1 320	Iugoslavia	59 340	2 656
Brazilia	137 388	1 117	Japonia	514 032	4 402
Bulgaria	34 835	3 932	Mexic	64 224	893
Canada	366 360	15 303	Norvegia	83 988	20 535
Cehoslovacia	72 732	4 748	Olanda	64 800	4 583
R. P. Chineză*	281 950	298	Polonia	121 877	3 425
Danemarca	25 164	4 915	Marea Britanie	285 048	5 095
Franța	243 288	4 530	*România*	*67 486*	*3 040*
R. D. Germană	98 808	5 903	Spania	110 316	2 947
R. F. Germania	368 772	5 990	S.U.A.	2 356 140	10 349
Grecia*)	20 652	2 185	Suedia	93 576	11 261
India	111 576	168	Turcia	23 280	518
Indonezia*)	7 330	49	Ungaria	23 876	2 229
Italia	185 016	3 244	U.R.S.S.	1 295 000	4 877

*) 1979
Sursa : Anuarul statistic al R.S.R. , 1982.

Dacă în 1950 producția de energie electrică a României era doar de 0,23% din totalul mondial, în 1970 era de 0,71%, iar în 1980 de 0,84%. Ea a crescut într-un ritm mult mai rapid decît creșterea pe plan mondial.

La sfîrșitul anului 1950, cea mai mare centrală electrică din țară era centrala Grozăvești (București), care la acea dată avea o putere instalată de 82,5 MW. La mijlocul anului 1983, patru centrale termoelectrice și una hidroelectrică aveau o putere instalată de peste 1 000 MW, iar cîteva zeci de centrale o putere de peste 100 MW. În 1950, cele mai mari grupuri erau de 20 MW. Astăzi ele au ajuns la 330 MW. În tabelul 3 sînt prezentate cîteva din marile centrale electrice din țara noastră la mijlocul anului 1983.

Trebuie menționat că în aval de marile hidrocentrale există cîte o salbă de centrale mai mici, care însumează uneori o putere instalată mai mare chiar decît a centralei principale (cazul hidrocentralelor de pe Bistrița, în aval de CHE Stejaru).

Salba de hidrocentrale de pe Olt va însuma în final o putere instalată de peste 1 000 MW, din care mai bine de jumătate era deja în funcțiune la mijlocul anului 1983.

Ponderea energiei electrice în consumul total de energie a crescut necontenit. În 1981, peste 24% din energia primară consumată la noi în țară a fost transformată în energie electrică, față de sub 10% în primii ani după război.

Consumul de combustibil în centralele termoelectrice pentru producerea unui kWh de energie electrică (consumul specific) a marcat o scădere spectaculoasă, datorită modernizării centralelor, creșterii puterilor unitare ale grupurilor și introducerii pe scară tot mai mare a termoficării, ceea ce a făcut să crească randamentul global al centralelor (vezi tabelul 4).

A crescut, de asemenea, și ponderea cărbunilor, în special a celor cu putere calorifică redusă (lignit), în balanța de combustibil necesar pentru centrale, dar cea mai mare parte a energiei termoelectrice produse este încă obținută pe seama gazelor naturale și păcurii (vezi tabelul 5). De aceea, toate eforturile sînt îndreptate înspre reducerea substanțială a ponderii hidrocarburilor (gaze naturale și păcură) în producția de energie electrică și termică și creșterea ponderii resurselor energetice inferioare (în special ligniți). În mo-

MARILE CENTRALE ELECTRICE ALE SEN

Tabelul 3

Centrala	Puterea instalată (MW)	Centrala	Puterea instalată (MW)	Centrala	Puterea instalată (MW)
C.T.E. Rovinari	1 720	C.E.T. București Sud	550	C.H.E. Porțile de Fier I	1 050
C.T.E. Turceni	1 650	C.E.T. Borzești	655	CHE Ciunget (Lotru)	510
		C.T.E. Doicești	520		
C.T.E. Mintia (Deva)	1 260	CET Galați	325	CHE Corbeni (Argeș)	220
C.E.T. Işalnița (Craiova)	1 035	C.E.T. Paroșeni	300	CHE Stejaru (Bicaz)	210
C.T.E. Brăila	960	C.T.E. Fîntînele (Singiorgiu de Pădure)	250	CHE Mărișelu (pe Someșul Cald)	220
C.T.E. Iernut (Luduș)	800	C.E.T. București Vest	250	C.H.E. G [illegible] (Sebeș)	150
C.E.T. Brazi (Ploiești)	860	C.E.T. Palas (Constanța)	250		

mentul de față la noi nu se mai întrebuințează practic motorină pentru obținerea de energie electrică.

CONSUMUL SPECIFIC DE COMBUSTIBIL ÎN CENTRALELE TERMOELECTRICE (GRAME COMBUSTIBIL CONVENȚIONAL PENTRU 1 KWh)

Tabelul 4

Anul	Total	Pe cărbuni		Pe păcură și motorină	Pe gaze naturale
		Total	din care pe lignit		
1955	723	820	591	631	648
1965	407	475	484	457	380
1975	318	359	359	320	294
1980	325	384	400	323	288
1981	334	397	418	327	300

Sursa : Anuarul statistic al R.S.R., 1982.

STRUCTURA PRODUCȚIEI DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN TERMOCENTRALE (%)

Tabelul 5

Anul	Total	Pe cărbuni		Pe păcură și motorină	Pe gaze naturale
		Total	din care lignit		
1955	100	19,5	11,6	35,7	41,7
1965	100	19,6	7,2	5,5	74,2
1975	100	33,2	19,5	5,0	59,2
1980	100	32,6	20,1	12,9	51,4
1981	100	30,7	20,0	11,2	55,4

Sursa : Anuarul statistic al R.S.R., 1982.

Se remarcă o creștere mai accentuată a energiei electrice produsă în hidrocentrale față de cea produsă în termocentrale. Dacă în 1950 aceasta reprezenta doar 8% din pro-

ducția totală de energie electrică, în 1975 ponderea ei era de 16,2%, iar în 1981 de 18%.

În tabelul 6 este prezentată balanța energiei electrice pentru cîțiva ani din intervalul 1955—1981. Cea mai mare parte din energia produsă este consumată de industrie. Se observă o creștere continuă a procentului energiei electrice consumată pentru utilizări casnice, datorită creșterii gradului de civilizație și nivelului de trai al populației, și pentru agricultură, datorită modernizării acesteia și extinderii suprafețelor irigate. În ultimii ani sistemele de irigații au devenit unul din marii consumatori de energie electrică, în perioadele de primăvară și vară, în special în anii deficitari din punct de vedere al precipitațiilor. De asemenea, se observă că pierderile de energie în rețelele electrice (consumul propriu tehnologic al acestora) a scăzut foarte mult datorită modernizării și exploatării lor economice.

BALANȚA ENERGIEI ELECTRICE

(procente)

Tabelul 6

	1955	*1965*	*1975*	*1980*	*1981*
RESURSE	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Producție	100,0	98,5	99,1	99,3	99,2
Import	—	1,5	0,9	0,7	0,8
DESTINAȚII	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Consum	89,1	85,6	87,0	94,0	93,5
din care : Industrie	65,2	59,3	60,3	64,3	63,4
Construcții	1,1	2,1	1,8	2,2	2,1
Transporturi și telecomunicații	1,6	0,8	2,0	2,8	2,8
Agricultură și silvicultură	1,0	1,5	3,7	4,2	4,5
Gospodărie comunală	2,5	2,3	1,5	1,6	1,8
Iluminat public	0,9	1,0	0,4	0,3	0,3
Utilizări casnice	4,5	5,9	6,9	7,2	7,3
Consum propriu al centralelor elec.	7,8	8,4	8,1	8,8	8,7
Export	0,8	3,4	5,5	0,1	1,0
Pierderi (consum propriu tehnologic) în rețelele de transport și distribuție	10,1	11,0	7,5	5,9	5,5

Sursa : Anuarul statistic al R.S.R., 1982.

Rețelele de transport și distribuție s-au dezvoltat și modernizat continuu. Dacă în anul 1950 lungimea totală a liniilor de 110 kV era de 126 km, prima linie de 220 kV apărînd în 1963, iar prima de 400 kV în 1965, astăzi numai rețeaua de 220 și 400 kV depășește 8 000 km, iar rețeaua de 110 kV — 23 000 km. Rețelele de medie tensiune au depășit 100 000 km. Numărul stațiilor electrice este de cîteva mii, iar al posturilor de transformare de cîteva zeci de mii.

Sistemul nostru energetic este interconectat cu sistemele țărilor vecine printr-o linie de 400 kV (cu U.R.S.S.) și două linii de 220 kV (cu Ungaria și Bulgaria). De asemenea, între noi și Iugoslavia există o linie de legătură de 400 kV (la Porțile de Fier) și una de 110 kV, dar nu se funcționează niciodată în paralel cu sistemul iugoslav, acesta avînd alt regim de frecvență decît sistemele din SEI.

Putem spune că avem astăzi un sistem energetic național dezvoltat și modern. Dar, mai mult decît oricare alt obiectiv, sistemul energetic se dezvoltă și se modifică în permanență. Mereu apar noi instalații, de la posturi de transformare și linii de joasă tensiune pînă la centrale, stații și linii de înaltă și foarte înaltă tensiune. Orice cifră care se referă la acesta, valabilă astăzi, va fi cu siguranță depășită mîine.

CAPITOLUL 6

O VIZITĂ LA DISPECERATUL ENERGETIC NAȚIONAL

După ce am vizitat atîtea centrale și stații, am „călătorit" împreună cu energia electrică prin rețele și am aflat o mulțime de lucruri despre sistemele energetice și instalațiile din care sînt compuse acestea, a sosit momentul să facem o vizită la locul de unde este condusă operativ funcționarea întregului sistem și anume camera de comandă a Dispecerului Energetic Național. Știind acum o mulțime de lucruri despre centrale, stații, rețele și sisteme energetice vom putea urmări cu interes explicațiile pe care ni le vor da gazdele noastre.

Într-un sistem energetic în care toate centralele, stațiile și rețelele sînt strîns legate între ele, alcătuind ca un singur organism uriaș, în care o perturbație în funcționarea unui element poate determina apariția unor perturbații în funcționarea altor elemente sau chiar a întregului sistem, este necesară o coordonare a funcționării acestora, realizată prin dispecerul sistemului energetic.

Scopul conducerii operative prin dispecer a sistemului energetic este realizarea unei exploatări coordonate a instalațiilor și echipamentelor de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice, care datorită regimului de funcționare în comun necesită comandă și conducere operativă unitară.

La început, cînd centralele electrice funcționau izolate una față de alta, fiecare alimentînd consumatorii dintr-o zonă restrînsă din vecinătatea sa, șeful de tură de serviciu pe centrală era cel care coordona atît funcționarea centralei, cît și a rețelei alimentată din aceasta.

Cunoscînd din experiență evoluția consumului se îngrijea să fie pornite din timp agregatele necesare pentru acoperirea acestuia, urmărea frecvența și încărca sau descărca grupurile pentru a o menține în limitele normale, urmărea tensiunea și excita sau dezexcita generatoarele pentru a menține

cea mai potrivită valoare în funcție de consum. Dacă era necesară oprirea unui agregat se îngrijea să fie pornit un altul din rezervă, iar dacă era necesară scoaterea din funcțiune a unei linii, ținea legătura cu personalul din rețea și coordona manevrele efectuate de acesta și de personalul din centrală. În caz de avarie coordona acțiunile personalului din centrală și din rețea, conducînd manevrele pentru lichidarea avariei și alimentarea consumatorilor.

Cînd două centrale au fost interconectate prin linii de legătură, lucrurile au început să se complice. Nu mai era posibil ca șeful de tură din fiecare centrală să se îngrijească numai de funcționarea centralei proprii și a rețelei alimentate din aceasta, fără să se preocupe de ceea ce se întîmplă la centrala vecină. Acoperirea consumului din ambele zone, reglajul frecvenței și al tensiunii, reglajul circulațiilor de puteri și curenți prin liniile de interconexiune, lichidarea avariilor care afectau ansamblul celor două centrale, manevrele pe liniile de legătură, oprirea și pornirea grupurilor etc., trebuiau făcute în comun, corelat, de către ambele centrale. Pentru a realiza această coordonare a fost însărcinat unul din șefii de tură, de obicei cel din centrala cea mai importantă.

Pe măsură ce la sistemul format din cele două centrale s-au interconectat și altele, s-au înmulțit liniile de legătură, au apărut noi stații, iar rețeaua a devenit din ce în ce mai complicată, șeful de tură care, în afara asigurării funcționării centralei proprii, avea ca sarcină și coordonarea funcționării interconectate a celorlalte centrale și stații, nu a mai putut face față ambelor activități.

A apărut ca necesară existența unei persoane care să se ocupe numai de coordonarea funcționării centralelor, stațiilor și rețelelor din sistemul format, fără a mai avea și sarcina de a asigura servirea unei instalații anume (centrală sau stație). Au luat ființă astfel primii dispeceri energetici și s-au conturat de acum două activități distincte : conducerea operativă prin dispecer (asigurată de către dispeceri) a sistemului energetic și servirea operativă a instalațiilor (asigurată de către personalul de serviciu din centrale, stații și rețea). Dispecerului de serviciu i-a fost subordonat operativ întregul personal de servire operativă din centralele, stațiile și rețelele sistemului respectiv.

Dispecerul fixează sarcinile la care vor funcționa centralele, urmărește realizarea acestora, conduce reglarea frecvenței și a tensiunii, coordonează efectuarea manevrelor care afectează mai multe stații sau centrale, dispune pornirea-oprirea și încărcarea-descărcarea grupurilor etc. În caz de avarii în sistem sau rețea conduce lichidarea acestora.

Cînd prin interconectarea mai multor sisteme locale a apărut un sistem întins și complex, a fost necesară crearea unui dispecer a cărui autoritate să cuprindă întreg acest sistem și căruia să-i fie subordonați operativ dispecerii sistemelor locale. Au apărut astfel două trepte de dispecer, subordonate operativ : dispecerul sistemului și dispecerii locali.

Autoritatea operativă asupra instalațiilor a trebuit să fie bine delimitată între dispeceri, atît pe verticală, între dispecerul sistemului și dispecerii locali, cît și pe orizontală, între dispecerii locali învecinați. Astfel, de centralele mari, de rețeaua de transport de bază, de reglajul tensiunii în nodurile acesteia și de reglajul frecvenței în întregul sistem, se ocupa dispecerul de sistem, pe cînd de centralele mici, de rețelele de transport și distribuție locale și de reglajul tensiunii în acestea, se ocupau dispecerii locali.

Mai tîrziu, prin constituirea de sisteme foarte mari și complexe, au apărut trei sau chiar patru trepte de dispecer.

Orice treaptă de dispecer are un compartiment de *comandă operativă*, cu personal organizat în ture (dispeceri de serviciu), care își desfășoară activitatea 24 de ore din 24 într-o cameră de comandă amenajată special în acest scop. Aici sînt instalate aparatele cu ajutorul cărora dispecerul de serviciu urmărește funcționarea instalațiilor din sistem sau efectuează reglaje și telecomenzi, sînt aduse legăturile telefonice cu obiectivele din sistem (centrale, stații) și cu treptele de dispecer subordonate, superioare sau învecinate și sînt instalate stațiile de radio pentru legăturile cu personalul din rețea.

Dar activitatea unei trepte de dispecer nu se reduce numai la cea desfășurată de compartimentul de comandă operativă (dispecerii de serviciu). O altă activitate importantă în cadrul treptelor de dispecer este aceea de *regimuri.*

Compartimentele de regimuri calculează și analizează regimurile de funcționare a sistemului sau rețelei, prevăd și elaborează programele de funcționare a instalațiilor și programele manevrelor, urmăresc și analizează modul de realizare a acestora, pun la dispoziția compartimentelor de comandă operativă instrucțiunile și documentația necesară etc.

Cu cît nivelul unei trepte de dispecer este mai ridicat, cu atît volumul activității de regimuri este mai mare. De asemenea, se întîlnesc și alte activități, cum ar fi cele legate de calcularea și stabilirea valorilor de reglaj pentru protecțiile prin relee și automatizările din sistem sau rețea, exploatarea sistemului teleinformațional și a mijloacelor de calcul, relațiile cu sistemele energetice învecinate, prevederea dezvoltării în perspectivă a sistemului energetic, precum și cele legate de dezvoltarea și dotarea tehnică a dispecerului respectiv.

La noi în țară, primul dispecer energetic a luat ființă în anul 1951, în zona văii Prahovei, la Cîmpina. A urmat, la intervale scurte de timp, înființarea de dispeceri energetici la București, Sibiu și Brașov, iar apoi, treptat, în alte zone ale țării.

În anul 1955 a luat ființă Dispecerul Energetic Național (DEN).

În momentul de față, conducerea prin dispecer a Sistemului Energetic Național (SEN) este asigurată de Dispecerul Energetic Național [1] și de treptele de dispecer subordonate operativ :

— dispecerii energetici teritoriali (București — pentru Muntenia și Dobrogea ; Bacău — pentru Moldova și Bucovina ; Cluj — pentru Transilvania și Maramureș ; Craiova — pentru Oltenia ; Timișoara — pentru Banat și Crișana). Aceștia sînt subunități în teritoriu ale Dispecerului Energetic Național ;

— dispecerii energetici ai întreprinderilor de rețele electrice, dispecerii marilor amenajări hidroenergetice și dispecerii marilor centrale electrice ;

— dispecerii energetici locali de rețele electrice (pe unele zone de județ, mari orașe și sectoare în București) și dispecerii energetici ai unor mari consumatori.

Dispecerul energetic național și dispecerii energetici teritoriali sînt dispeceri de sistem, activitatea lor fiind axată pe coordonarea producerii și transportului energiei electrice și supravegherea funcționării sistemului, iar dispecerii între-

[1] Compartimentul de comandă operativă al Dispecerului Energetic Național poartă denumirea de Dispecerul energetic central (DEC).

prinderilor de rețele electrice și dispecerii locali sînt dispeceri de rețele, activitatea lor fiind axată pe coordonarea distribuției energiei electrice și supravegherea funcționării rețelelor de distribuție.

Conducerea prin dispecer a sistemului energetic se realizează în mod unitar, indiferent de subordonarea administrativă a unităților care dețin și exploatează instalații din sistem ; ea are relații de autoritate distincte de cele administrative, avînd organizări și reglementări speciale. Astfel, există o *subordonare operativă*, care constă în existența unor relații de subordonare din punct de vedere operativ între personalul de servire operativă din instalații și treptele de dispecer, precum și între treptele de dispecer, și o *subordonare tehnico-administrativă*, care constă în existența unor relații de subordonare din punct de vedere tehnic și administrativ între personalul de servire operativă sau dispeceri și conducătorii ierarhici ai acestora (personalul de conducere tehnico-administrativă).

Autoritatea de conducere operativă a fiecărei trepte de dispecer asupra instalațiilor din sistemul energetic este bine delimitată. Asupra regimului unui element al sistemului (linie, bară, transformator, grup generator, cazan etc.) nu poate decide decît un singur dispecer (se spune că elementul respectiv este în *autoritatea de decizie* a acelui dispecer).

Conducerea operativă prin dispecer a Sistemului Energetic Național și a instalațiilor care fac parte din acesta se desfășoară potrivit prevederilor *regulamentului pentru conducerea prin dispecer în sistemul energetic*.

Nivelul instalațiilor aflate în autoritatea unei trepte de dispecer depinde de locul acesteia în ierarhia conducerii operative a sistemului. Nu se poate pretinde unui dispecer local să comande o stație de 220 kV, chiar dacă se află lîngă el, și nici dispecerului național sau dispecerului teritorial să cunoască și să comande o rețea de 20 kV.

În autoritatea dispecerului național sînt centralele mari și foarte mari, rețeaua de transport de bază a sistemului (400 și 220 kV) și reglajul tensiunii în aceasta, reglajul frecvenței pe ansamblul sistemului, precum și reglajul circulațiilor de puteri pe liniile de interconexiune cu sistemele vecine. În autoritatea dispecerilor teritoriali sînt centralele mai mici, rețeaua de transport de 110 kV și reglajul tensiunii în aceasta, precum și unele elemente ale rețelei de 220 kV.

În autoritatea dispecerilor de întreprindere de rețele electrice și dispecerilor locali sînt rețelele de distribuție de 110 kV, rețelele de medie tensiune, reglajul tensiunii în acestea, precum și unele centrale de puteri mici.

Cum poate însă un dispecer să cunoască în fiecare moment configurația (schema) reală în care funcționează miile de elemente din sistemul sau rețeaua pe care o comandă operativ, cînd aceasta se schimbă mereu, funcție de necesități ? Cum poate el preda serviciul colegului care îl schimbă cînd s-a încheiat tura sa ? Ar fi imposibil să-i descrie schema de funcționare a fiecărui element, de fiecare dată.

De aceea se întocmesc așa-numitele *scheme normale*, prin care se fixează configurația în care vor funcționa instalațiile o perioadă mai lungă de timp (pentru cîte șase luni, perioada de vară și perioada de iarnă). Atît dispecerii cît și personalul de servire operativă cunosc bine schemele normale ale instalațiilor și rețelelor pe care le comandă sau le servesc. Orice nepotrivire între configurația reală în care se află la un moment dat un element și configurația prevăzută în schema normală constituie o *abatere de la schema normală*.

Este suficient să fie menționate numai abaterile de la schema normală pentru ca o persoană care o cunoaște să știe precis configurația reală de funcționare în acel moment a instalațiilor respective, rețelei sau sistemului. Spre exemplu, dacă într-o stație toate elementele funcționează în configurația prevăzută în schema normală, cu excepția unui transformator care, în loc să fie în funcțiune, așa cum este prevăzut în schema normală, este în rezervă, este suficient să se menționeze doar această abatere pentru ca o persoană care cunoaște schema normală a stației să știe precis configurația în care funcționează în acel moment toate elementele din aceasta. Una din condițiile de bază pentru o conducere prin dispecer eficientă a sistemului energetic este respectarea unei discipline operative foarte stricte, numită *disciplina de dispecer*. Nerespectarea acesteia constituie o abatere foarte gravă, deoarece poate avea uneori consecințe nefaste asupra funcționării întregului sistem, poate produce pagube însemnate economiei naționale sau poate cauza accidente grave.

Efectuarea unei manevre sau modificarea unui regim de funcționare nu pot fi făcute fără garanția dispecerului că acest lucru este posibil în situația dată. Nici un element din sistem, care este în autoritatea dispecerului (grupuri generatoare,

cazane, transformatoare, linii, bare colectoare etc.), nu poate fi pus sau scos din funcțiune fără aprobarea sau dispoziția acestuia. De asemenea, orice modificare a regimului sau configurației de funcționare a instalațiilor, precum și a regimului protecțiilor prin relee și automatizărilor, poate fi efectuată numai cu aprobarea sau la dispoziția dispecerului în autoritatea căruia se află echipamentele respective. Numai în cazuri excepționale, care nu suferă amînare (catastrofe naturale, incendii, pericol iminent de distrugere a utilajului, pericol de accidente umane), manevrele se pot efectua fără anunțarea prealabilă a dispecerului respectiv dar cu anunțarea ulterioară, cît mai rapid posibil, a acestuia. De asemenea, în cazul defectării legăturilor de telecomunicații cu dispecerul care are în autoritate instalația respectivă manevrele de lichidare a avariilor se efectuează sau se conduc fără aprobarea sau dispoziția acestuia, conform instrucțiunilor întocmite special pentru astfel de cazuri, cu anunțarea sa imediat ce este posibil. Dispecerul, care cunoaște aceste instrucțiuni, știe la ce să se aștepte și va conduce lichidarea avariei în celelalte obiective sau zone în consecință.

Și acum să intrăm în moderna și frumoasa cameră de comandă a Dispecerului Energetic Național. Aici totul, de la sistemul de iluminat, culoarea mochetei, pupitrele și scaunele dispecerilor, instalația de climatizare a aerului (necesară funcționării într-un microclimat constant a aparaturii foarte delicate) și pînă la forma și amplasarea schemei sinoptice a sistemului și a diferitelor aparate, ecrane și butoane, a fost gîndit astfel încît să asigure condiții optime de lucru, pentru ca atenția dispecerilor să fie îndreptată în întregime asupra problemelor ridicate de comanda operativă a sistemului și să nu se producă o obosire nervoasă excesivă a acestora.

Dispecerul Energetic Național este dotat tehnic la un nivel foarte ridicat. Sistemul teleinformațional de care dispune este dintre cele mai moderne, la fel ca și sistemul de telecomunicații și instalațiile de calcul.

Sistemul teleinformațional cuprinde echipamente de culegere automată a informațiilor din instalațiile energetice (centrale, stații) și de la treptele inferioare de dispecer, echipamente de transmitere a informațiilor la treapta superioară de dispecer și de recepție a ordinelor de la aceasta și echipamente de prelucrare și afișare automată a informațiilor.

La fiecare dispecer teritorial se găsește cîte un calculator de proces legat la cele două calculatoare de proces aflate la dispecerul național. Informațiile culese de către echipamentele montate în centrale și stații și transmise automat la dispecerii teritoriali sînt de două feluri: măsuri (de puteri active și reactive, curenți, tensiuni, frecvență) și semnalizări (poziții ale întrerupătoarelor și separatoarelor, și alarme).

Calculatoarele de la dispecerii teritoriali prelucrează informațiile, afișează ceea ce-i interesează pe aceștia, iar pe cele care interesează dispecerul național le transmite calculatoarelor de la acesta. După prelucrare ele sînt afișate, în culori, pe ecranele televizoarelor (monitoarelor) pe care le vedem în camera de comandă. Astfel, în orice moment (datele se reînnoiesc la cel mult 15 secunde), dispecerul dispune de informații privind schema reală de funcționare a rețelei de 400 și 220 kV și a fiecărei stații, tensiunile pe barele acestora, circulațiile de puteri (active și reactive) prin elementele rețelei de 400 și 220 kV, puterea activă și reactivă produsă în sistem și de către fiecare din centralele mari, puterea consumată pe ansamblul sistemului etc.

În cazul declanșării unor elemente din rețeaua de 400 și 220 kV (linii, autotransformatoare, transformatoare) și a unor grupuri de putere mare, precum și în cazul depășirii valorilor admise ale circulațiilor (putere, curent) prin elementele rețelei sau ieșirii din limitele admise a parametrilor de funcționare (tensiune, frecvență), dispecerul este alarmat și i se indică imediat, pe unul din ecrane, evenimentul, locul și ora (minutul, secunda) la care acesta a avut loc. Dispecerul va cere imediat calculatorului să-i afișeze pe ecranele de vizualizare schema rețelei (zonei, stației) unde s-a produs evenimentul sau orice alte informații de care are nevoie pentru a analiza situația și a decide asupra măsurilor de remediere.

De asemenea, orice manevrare a unui aparat de comutație (întrerupător, separator) din stațiile de 400 și 200 kV este semnalizată, iar pe schema rețelei și schema stației respective apare noua poziție în care se află aparatul respectiv (închis sau deschis).

Se realizează astfel o supraveghere automată a funcționării sistemului, pe care omul nu o poate face în volumul și cu rapiditatea necesare, elementele care trebuie supravegheate fiind foarte multe, iar cantitatea de informații care prezintă

importanță și de care dispecerul are nevoie, în special în situații critice, fiind foarte mare.

Calculatoarele de proces efectuează însă și o serie întreagă de alte operațiuni. Astfel, ele memorează și prelucrează o serie de date și întocmesc situații (protocoale) și grafice care servesc atît dispecerilor din tură cît și la analiza și programarea funcționării sistemului pentru perioada următoare. În cazul unor avarii înregistrează evenimentele petrecute și reține informațiile necesare pentru analiza acestora. De asemenea, sînt prevăzute cu programe care, periodic sau la cererea dispecerului, estimează starea sistemului, efectuează calculele necesare și indică ce se întîmplă dacă, în situația dată, declanșează elementele din rețea care funcționează încărcate peste o anumită valoare, precum și cu programe cu ajutorul cărora dispecerul poate simula ce se întîmplă în sistem dacă în acel moment ar declanșa linia „X", ar ieși din funcțiune centrala „Y", ar fi un scurtcircuit pe barele unei stații etc.

Cu ajutorul calculatorului dispecerul poate să analizeze din timp cele mai defavorabile ipoteze de avarie în situația dată și să se gîndească la rece la cea mai eficace soluție pentru evitarea extinderii și lichidarea avariei respective în cazul în care aceasta s-ar produce în realitate.

Dispecerii sistemelor energetice moderne sînt într-un permanent dialog cu calculatoarele cu care sînt dotați. Numai astfel ei pot conduce operativ funcționarea sistemului în condiții de siguranță și economicitate maxime. Vom observa că fiecare dispecer dispune de o consolă cu ajutorul căreia poate intra în dialog cu calculatorul.

Calculatoarele de proces, în afara rolului de „informatoare" și »sfătuitoare" ale dispecerului, pot comanda și direct efectuarea unor operații sau reglaje. Astfel, a fost pus la punct un program pentru reglarea automată, de către calculator, a frecvenței-puterii de schimb.

În unele sisteme energetice au fost încredințate calculatoarelor de proces și comanda unor operații cum ar fi pornirea sau oprirea unor grupuri din centrale, punerea în funcțiune sau trecerea în rezervă a unor elemente din rețea, efectuarea unor reglaje de tensiune, efectuarea unor manevre de lichidare a avariilor etc.

Comanda operativă integrală a unui sistem energetic de către calculatoare, fără intervenția omului, nu a putut fi însă realizată. Fenomenele sînt așa de complexe, iar situațiile care

se pot ivi sînt așa de diverse (în special în cazuri de avarie), încît este necesară prezența inteligenței umane. Pe de altă parte, fără existența calculatoarelor comanda operativă a unui sistem energetic complex este greu de imaginat.

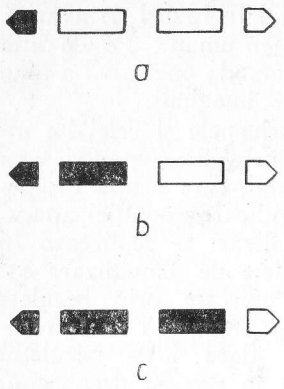
Dar în afara ecranelor, pe care schemele și celelalte informații sînt afișate electronic, în camera de comandă vom vedea și o schemă sinoptică a sistemului, care ocupă tot peretele din fața dispecerului, pe care indicarea poziției aparatelor de comutație și diversele semnalizări se realizează în sistemul clasic, cu ajutorul unor beculețe de semnalizare colorate. Astfel, întrerupătoarele sînt marcate prin beculețe roșii și verzi ; dacă arde beculețul roșu înseamnă că întreruptorul este în poziția conectat, iar dacă arde beculețul verde, înseamnă că întreruptorul este în poziția deconectat. Dacă la un moment dat poziția întreruptorului se modifică (declanșează automat, este conectat sau deconectat) beculețul respectiv pîlpîie, atrăgînd astfel atenția dispecerului.

În dreptul fiecărei stații sînt prevăzute casete de semnalizare optică. În cazul declanșării unui întreruptor, creșterii circulațiilor peste limita maximă admisă sau ieșirii din limitele normale a parametrilor de funcționare, caseta respectivă va pîlpîi, semnalizarea optică fiind însoțită și de o semnalizare acustică.

Interesant este și sistemul de indicare pe schema sinoptică a încărcării elementelor rețelei (linii, autotransformatoare, transformatoare) cu ajutorul unor săgeți luminoase cu două capete (fig. 6.1). Vîrful săgeții care este aprins indică sensul de circulație a puterii (active). Dacă este aprins numai acesta înseamnă că elementul respectiv este încărcat sub 40% din valoarea maximă admisă (fig. 6.1.a) ; dacă este aprinsă și jumătate din coada săgeții încărcarea este cuprinsă între 40% și 80% (fig. 6.1.b) ; dacă este aprinsă toată coada săgeții încărcarea depășește 80% din valoarea maximă admisă (fig. 6.1.c).

Schema sinoptică este comandată tot de calculatorul de proces.

Anumite măsuri, care prezintă o importanță deosebită, sînt transmise la dispecer și pe o altă cale, independentă de calea prin care se transmit celelalte informații, și sînt afișate pe aparate de măsură clasice, pentru ca în caz de defecțiuni în sistemul teleinformațional de bază acestea să ajungă totuși la dispecer.



6.1. Indicarea pe schema sinoptică a încărcării elementelor rețelei.

Vom vedea, de asemenea, și instalația pentru reglajul automat al frecvenței-puterii de schimb, precum și moderna centrală telefonică automată interurbană, prin care dispecerul național poate lua legătura rapid cu toate obiectivele importante (centrale, stații) din sistem, precum și cu dispecerii subordonați, dispecerii naționali ai sistemelor învecinate și dispecerul sistemului interconectat.

Asigurarea unor legături telefonice bune este de o mare importanță pentru comanda operativă a instalațiilor din sistemul energetic. Acestea sînt realizate atît prin cabluri telefonice și radiorelee, cît și prin conductoarele liniilor de înaltă tensiune (cu ajutorul curenților de înaltă frecvență). În același mod sînt realizate și căile de transmitere a informațiilor și ordinelor ale sistemului teleinformațional.

Înainte de a părăsi sediul Dispecerului Energetic Național vom vizita însă și calculatorul de mare capacitate, Felix C-256, cu ajutorul căruia se efectuează mulțimea de calcule necesare activității de regimuri, de stabilire a reglajelor protecțiilor prin relee și automatizărilor din sistem, de analiză a stabilității sistemului etc. Fără mijloacele de calcul necesare nu se poate concepe conducerea operativă prin dispecer a unui sistem energetic complex.

CAPITOLUL 7

UN ENERGETICIAN DE MARE IMPORTANȚĂ: CONSUMATORUL

O pondere însemnată în compunerea unui sistem energetic o au consumatorii de energie electrică precum și consumatorii energiei termice produse prin termoficare în centralele electrice.

Energia electrică nu este consumată direct decît în procesele de separare electrolitică a substanțelor chimice (electroliză, galvanoplastie etc.). În celelalte utilizări ea este consumată sub alte forme: căldură, energie mecanică, radiație luminoasă etc. Datorită proprietății ei de a putea fi transformată relativ ușor și comod, energia electrică permite obținerea acestor forme de energie în momentul, la locul și în cantitățile necesare.

O bună parte din energia primară consumată este transformată în energie electrică și în energie termică produsă în centralele electrice prin termoficare. Randamentul net al transformării energiei primare în energie electrică, inclusiv pierderile de energie la transportul și distribuția energiei electrice pînă la consumatori, este de circa 34—36% pentru cea produsă în centralele moderne care folosesc combustibili clasici, de circa 70—72% pentru cea produsă în hidrocentrale și de circa 28—30% pentru cea produsă în centralele electrice nucleare. În cazul producerii de energie electrică combinat cu producerea de energie termică, în centralele electrice de termoficare, randamentul este de circa 70—75%. Cum în țara noastră o parte însemnată din energia electrică produsă din surse termice este obținută în centralele electrice de termoficare, randamentul mediu al centralelor electrice este ridicat, la nivelul realizărilor de vîrf pe plan mondial. Consumul mediu în 1981 de 334 grame combustibil convențional pentru un kWh produs este comparabil cu cel realizat în S.U.A. și U.R.S.S., țări cu o energetică foarte dezvoltată. Totuși, să nu uităm că pentru fiecare unitate de energie electrică consumată este

necesar să se consume o cantitate de energie primară de cel puțin 2,5 ori mai mare.

Receptoarele electrice, alimentate de la rețeaua de distribuție, reprezintă instalațiile de utilizare a energiei electrice sau consumatorii de energie electrică. Ei pot fi împărțiți în următoarele categorii :

— industrie ;
— construcții ;
— transporturi și telecomunicații ;
— agricultură, zootehnie și silvicultură ;
— consumatori comunali (urbani sau rurali) :
  — consumatori casnici (locuințe),
  — consumatori comerciali, administrativi etc.,
  — iluminat public,
  — transporturi în comun,
  — alimentări cu apă ;
— export de energie electrică ;
— consum propriu tehnologic pentru producerea, transportul și distribuția energiei electrice.

Repartiția consumului de energie electrică între diversele categorii de consumatori este diferită de la o țară la alta, depinzînd de gradul de dezvoltare a industriei, de electrificare a agriculturii, de electrificare a transportului feroviar, de dotare a gospodăriilor cu aparate electrocasnice etc.

Principalul consumator de energie electrică este, în toată lumea, industria. Consumul industrial este predominant mai ales în țările cu nivel mediu de dezvoltare. În țările cu economii foarte dezvoltate, datorită creșterii consumului pentru populație, agricultură, transporturi, comerț, servicii etc., consumul acestora se apropie de cel al industriei. Spre exemplu, în S.U.A. consumul de energie electrică al industriei reprezintă mai puțin de jumătate din consumul total. Același lucru se observă și în țările în care industrializarea este la început, unde consumul pentru populație, cu toate că este redus, egalează sau chiar depășește consumul industrial, care în valoare absolută este și el redus. Dezvoltarea rapidă a întregii noastre economii naționale a condus în ultimii 40 de ani la o creștere a consumului de energie electrică de cîteva zeci de ori la o schimbare a structurii acestuia. Cu toate că a crescut foarte mult consumul pentru populație, au fost electrificate satele, s-au modernizat transporturile feroviare etc., datorită dezvoltării impetuoase a industriei aceasta consumă la ora actuală aproape două treimi din energia electrică produsă. În 1981, consumul industrial a reprezentat 63,4% din totalul resurselor de energie electrică (producție + import) și 68% din totalul consumului. Dacă în 1950 consumul anual era de 2 345 kWh pe un muncitor din industrie, el a crescut la 14 509 kWh în 1975 și la 16 528 kWh în 1981.

În afară de energie electrică, industria modernă este și un mare consumator de hidrocarburi și în special de gaze naturale. O parte din acestea este folosită ca materie primă, iar o altă parte servește pentru producerea de abur și de căldură necesare direct în procesele tehnologice. Conservarea combustibililor superiori și intensificarea folosirii combustibililor inferiori în ramura energiei a stat la baza politicii energetice promovată de Partid încă de la Conferința Națională a P.C.R. din 1945. Este interesant de amintit că la noi în țară, încă acum 50 de ani (1 iulie 1924), a apărut una din primele legi ale energiei din lume. Cu privire la industrie și ramura energiei aceasta prevedea „utilizarea nelimitată a căderilor de apă și a cărbunilor inferiori folosiți la fața locului, lîngă mină, căutînd astfel să rezolve cel mai mult posibil petrolul, cărbunele superior și gazul metan pentru industrie" și „interzice risipa acestor bogății, avantajînd întreprinderile care dată fiind natura lor și mijloacele lor pot exploata mai bine energia în interesul general".

Ramurile industriale diferă mult între ele în ceea ce privește consumul de energie. În toate economiile dezvoltate echilibrat, industriile cele mai mari consumatoare de energie sînt siderurgia, chimia, rafinarea petrolului, industria cimentului, sticlei și materialelor de construcții, metalurgia neferoasă și industria celulozei și hîrtiei.

Ridicarea gradului de folosire utilă a energiei în industrie poate fi realizată pe mai multe căi. În primul rînd prin introducerea de noi tehnologii care să conducă la reducerea consumului de energie pe unitatea de produs și să permită eventual trecerea de la consumul de combustibili superiori la consumul de combustibili inferiori. Aceasta înseamnă însă reutilării, renovări de echipamente și investiții importante, lucruri care necesită timp și cheltuieli. O altă cale este recorelarea ponderii ramurilor industriale în cadrul dezvoltării economiei, restrîngerea și înlocuirea produselor care necesită un consum ridicat de energie. Se impune reexaminarea necesarului de produse energointensive, pentru a se evita pe cît posi-

bil consumul exagerat sau exportul prin astfel de produse a unor cantităţi mari de energie (înglobată în acestea în cursul procesului de fabricaţie), care va trebui apoi importată pentru a echilibra balanţa energetică. În fine, prin înlocuirea energiei cu alţi factori de producţie (mînă de lucru, materiale, instalaţii), în special cu ocazia alegerii obiectivelor noi sau modernizării celor existente, prin creşterea duratei de viaţă sau îmbunătăţirea randamentului energetic al produselor, chiar cu preţul anumitor creşteri a costurilor, se pot obţine importante reduceri ale consumurilor de energie. Toate aceste căi necesită însă timp şi eforturi financiare.

Gospodărirea raţională a energiei, buna întreţinere şi izolare a echipamentelor, dotarea cu aparate de măsură şi control şi buna funcţionare a acestora, corecta încărcare a utilajelor, evitarea rebuturilor şi a operaţiilor suplimentare, luarea unor măsuri organizatorice, crearea unei opinii de masă pentru suprimarea risipei de energie şi pentru modificarea comportamentului consumatorilor în sensul utilizării mai puţin intensive a acesteia, aduc importante economii de energie în mod imediat şi cu investiţii minime. Ca să dăm numai un exemplu, forţarea ritmului la unele procese ciclice şi supraîncărcarea utilajelor la producţia în asalt conduc la consumuri sporite de energie. Acelaşi lucru se întîmplă şi la menţinerea utilajelor la încărcări parţiale şi folosirea lor sub capacitatea de producţie nominală sau cînd sînt lăsate să funcţioneze în gol. Eliminarea consumurilor neeficiente de energie din producţia industrială trebuie să fie o preocupare permanentă atît a energeticienilor cît şi a tehnologilor.

Un mijloc de reducere a consumurilor de energie în industrie îl constituie recuperarea resurselor energetice secundare (căldura conţinută în gazele de ardere, în purtătorii de căldură solizi sau lichizi, de multe ori chiar produse finite, precum şi deşeurile combustibile sub formă de gaze, lichide sau materiale solide, care pot fi arse în cazane speciale pentru producerea de căldură sau chiar de energie electrică şi căldură prin termoficare). Se apreciază că prin raţionala folosire a resurselor secundare se poate reduce cu pînă la 20% consumul de energie primară, chiar dacă tehnologiile folosite în procesele de producţie nu se modifică. În momentul de faţă se pune problema ca nivelul recuperării resurselor secundare să nu se oprească la nevoile fabricii respective, ci să fie extins, acolo unde există disponibilităţi, livrîndu-se căldură şi unor industrii învecinate sau cartierelor de locuinţe situate în apropiere. Un exemplu de folosire a resurselor secundare sub formă de gaze combustibile îl constituie CET Galaţi, la care o bună parte din combustibilul folosit îl constituie gazele de furnal şi gazele de la cocserii livrate de Combinatul Siderurgic Galaţi.

Termoficarea industrială reprezintă o metodă foarte eficientă pentru valorificarea combustibililor, cu randamente ridicate. Industria noastră, realizată în general pe platforme industriale complexe, oferă condiţii favorabile pentru dezvoltarea termoficării şi folosirea resurselor energetice secundare.

Agricultura modernă intensivă a devenit un consumator important de energie. În afara consumului direct, o pondere însemnată o are consumul indirect, prin folosirea de îngrăşăminte chimice, care sînt materiale energointensive. Prin mecanizare agricultura a devenit şi un consumator important de petrol. Extinderea irigaţiilor a condus la o creştere însemnată a consumului de energie electrică, cu caracter sezonier. În perioadele de primăvară şi vară, în special în anii secetoşi, consumul de energie electrică pentru irigaţii atinge valori însemnate. La nivelul actual de dezvoltare a irigaţiilor în ţara noastră, în unele momente puterea cerută de acestea de la sistem atinge 12—14% din totalul consumului. Producţia de legume în sere este o activitate mare consumatoare de energie termică. Folosirea surselor de încălzire proprii utilizînd hidrocarburi apare din ce în ce mai puţin rentabilă. Mijlocul cel mai eficace de a corecta acest consum este de a folosi căldura produsă prin termoficare în centralele electrice, în special dacă sînt folosiţi combustibili inferiori. De aceea se caută să se amplaseze marile complexe de sere pe lîngă centralele electrice de termoficare. Ca şi în industrie, prin luarea unor măsuri care nu necesită mari cheltuieli de investiţii şi prin crearea unei opinii de masă privind buna gospodărire a resurselor energetice şi evitarea risipei se pot realiza economii însemnate de energie. Referindu-ne numai la irigaţii, prin judicioasa lor exploatare, buna gospodărire a apei, înlăturarea neetanşeităţilor, evitarea pierderilor de apă şi a suprapompării, se apreciază că există posibilităţi de economisire a energiei care în unele cazuri pot depăşi 30%.

În activitatea agrozootehnică există condiţii favorabile pentru folosirea surselor inepuizabile de energie (soare, vînt, mici

căderi de apă, folosirea biogazului), înlocuindu-se astfel o parte din energia provenită din sursele clasice.

Consumul de energie pentru populație, în țările din zona temperată, este în mare proporție sub formă de combustibil pentru încălzire și pentru prepararea hranei. În marile aglomerări urbane principala resursă sînt gazele naturale, combustibil superior și cu rezerve limitate. Reducerea consumului de gaze și folosirea surselor de combustibili inferiori, a surselor de energie nucleară pentru livrarea de căldură precum și a noi surse de energie inepuizabile (solară, geotermală, deșeuri combustibile) a devenit o preocupare permanentă în toate țările.

Extinderea termoficării urbane reprezintă o soluție cu bune rezultate. Producerea combinată de energie electrică și căldură aduce față de celelalte soluții de încălzire o economie de combustibil de circa 30%. În plus, în centralele electrice de termoficare pot fi folosiți cu bune rezultate combustibili inferiori.

Consumul de energie electrică pentru populație, care în țara noastră atinge o cotă care se situează în jurul a 10—11% din totalul consumului, datorită ciclului său diurn (puterile cerute la vîrful de sarcină sînt cu mult mai mari decît cele cerute în golul de noapte) impune dimensionarea rețelelor și a centralelor pentru acoperirea vîrfului de seară. După cum am văzut, producerea energiei electrice necesară pentru acoperirea vîrfurilor de consum se face cu un randament mai scăzut și la un preț de cost mai ridicat, folosindu-se combustibili superiori și apelîndu-se și la agregate cu consumuri specifice mari. În cazurile în care capacitatea de producție a unor centrale este redusă din diferite motive (secetă prelungită care conduce la scăderea debitelor rîurilor și a volumelor de apă din lacurile de acumulare, condiții meteorologice deosebite care provoacă dificultăți în aprovizionarea cu combustibil și în special cu cărbune etc.) se pot ivi dificultăți în acoperirea vîrfurilor de consum. De aceea, economisirea energiei electrice în acest sector are o importanță mult mai mare decît pare atunci cînd ne gîndim numai la cota parte pe care o reprezintă în consumul total.

În această direcție se pot lua o serie de măsuri care să conducă la economisirea energiei electrice și la folosirea mai eficientă a acesteia. Una din măsuri este îmbunătățirea și raționalizarea în limite fiziologice rezonabile a iluminatului. Folosirea corpurilor de iluminat care nu absorb lumina și o difuzează în mod direct la locurile din încăpere unde este necesară o iluminare mai bună, folosirea de lămpi fluorescente (în locul lămpilor cu incandescență) care asigură aceeași iluminare la o putere electrică consumată de trei ori mai mică, folosirea la lucru a lămpilor de birou în locul iluminatului general al încăperii, folosirea veiozelor atunci cînd nu este necesară o iluminare mai intensă a încăperii, întreruperea iluminatului atunci cînd vizionăm programul la televizor, iluminarea numai a încăperilor în care ne aflăm, întreținerea în perfectă stare de curățenie a corpurilor de iluminat și a lămpilor etc., sînt metode de economisire la îndemîna tuturor. O altă măsură care trebuie aplicată este folosirea aparatelor electrocasnice în golurile de consum ci nu la vîrfurile de sarcină, precum și limitarea funcționării acestora la strictul necesar. Practica de a se folosi reșouri, calorifere electrice etc. pentru a menține în apartamente o temperatură mai ridicată decît cea necesară este păgubitoare atît pentru consumatorul respectiv cît și pentru funcționarea sistemului energetic.

O altă serie de măsuri vizează introducerea de aparatură electrocasnică mai eficientă precum și realizarea de aparatură programabilă (pentru a funcționa în golurile de consum).

Economisirea apei potabile atrage după sine o economie indirectă de energie electrică (necesară pentru pomparea acesteia) iar economisirea apei calde conduce la importante economii de combustibil.

Limitarea iluminatului public la strictul necesar, întocmirea unor programe pentru magazine, instituții etc. astfel încît să fie folosită cît mai mult posibil lumina naturală, programarea judicioasă a circulației mijloacelor de transport în comun etc., iată alte cîteva măsuri care conduc la economisirea energiei.

Fiecare dintre noi, atît la locul de muncă, cît și în activitatea particulară, putem contribui la economisirea atît a energiei electrice cît și a celorlalte forme de energie. Țara noastră nu dispune de resurse energetice bogate, noi fiind încă în situația de a importa anumite cantități. Economisirea este cea mai ieftină și mai la îndemînă sursă de energie. Nu este un bun gospodar și patriot cel care la el acasă este foarte

econom, fiindcă risipa de energie îl costă, dar la locul de muncă nu este preocupat de această problemă.

Trebuie înţeles că energia electrică consumată nu poate fi mai mare decît cea produsă. Or, cum producţia este şi ea limitată, orice risipă a unora atrage după sine imposibilitatea de a satisface cerinţele normale ale altora.

Numai prin efortul nostru, al tuturor, alăturat celui al energeticienilor, se poate realiza o bună funcţionare a sistemului energetic şi o bună gospodărire a resurselor energetice.

CAPITOLUL 8

O PRIVIRE SPRE VIITOR

Consumul mondial de energie va ajunge în anul 2000 la circa 24 miliarde tcc (tone combustibil convenţional), după unele prognoze, iar după altele doar la 18—20 miliarde tcc, reducerea fiind pusă pe seama tendinţelor tot mai accentuate de economisire a energiei şi orientării spre consumuri energetice cît mai scăzute. Cota parte din energia primară consumată care va fi transformată în energie electrică va creşte la 40—45%. Se vor produce deci peste 30 000 miliarde kWh anual, faţă de 8 044 miliarde în anul 1980. Din ce va fi acoperit acest consum de energie? Rezervele de cărbune cunoscute, care pot fi exploatate cu mijloacele tehnice actuale în condiţii economice, sînt evaluate la circa 500 miliarde tone. Resursele totale (certe, posibile şi probabile) sînt însă estimate la 9 000—10 000 miliarde tone. Avînd în vedere mărimea rezervelor, precum şi faptul că o parte din ce în ce mai mare din acestea vor deveni exploatabile în viitor, consumul este asigurat pentru sute de ani. La nivelul anului 2000, în jur de 22% din cerinţele de energie primară vor fi acoperite de cărbune. O mare parte din acesta va fi în continuare folosit în centrale pentru producerea de energie electrică. Dacă rezervele de cărbune asigură o linişte de cel puţin două secole, nu la fel stau lucrurile cu rezervele de petrol, cele exploatabile tehnic şi economic în condiţiile actuale fiind doar de 90—100 miliarde tone. Luînd însă în considerare şi rezervele care vor putea deveni exploatabile într-un viitor nu prea îndepărtat, se ajunge la o cifră de circa 200 miliarde tone. Sînt însă posibile noi descoperiri de zăcăminte, în special submarine, care să modifice simţitor aceste evaluări. Resursele totale (certe, posibile şi probabile) sînt estimate la aproape 800 miliarde tone. Cererea de petrol va continua să crească, acesta fiind folosit şi pentru obţinerea unei serii întregi de produse în industria petrochimică, dar contribuţia sa la acoperirea consumului de energie va scădea la 35—36%

în jurul anului 2000. În privința obținerii de energie electrică ponderea sa va scădea continuu, dar va rămîne totuși destul de ridicată cel puțin încă două decenii de acum înainte.

Ca și în cazul petrolului, rezervele de gaze naturale cunoscute sînt destul de reduse, cele tehnic și economic exploatabile la nivelul tehnologic actual fiind evoluate la 65 000—75 000 miliarde metri cubi, dar este posibilă descoperirea de noi zăcăminte care să modifice aceste cifre. Resursele totale sînt apreciate la aproximativ 250 000 miliarde metri cubi. Gazele naturale fiind o materie primă deosebit de prețioasă pentru industria chimică, folosirea lor în scopuri energetice va marca o scădere continuă. Se estimează că pînă în anul 2000 contribuția lor la acoperirea consumului de energie primară va scădea la 18%, cu accentuarea în continuare a tendinței de scădere. Totuși, încă mulți ani de aici înainte vor mai fi folosite gazele naturale și pentru producția de energie electrică, dar ponderea lor va scădea în continuu.

Șisturile și nisipurile bituminoase, foarte puțin exploatate în prezent, vor fi cu siguranță mult mai folosite în viitor, atît pentru obținerea de hidrocarburi din ele cît și drept combustibil în cazanele termocentralelor. Resursele totale sînt estimate la un echivalent de circa 1 200 miliarde tcc. Numai supergigantul zăcămînt de nisipuri bituminoase de la Athabaska (Canada) conține aproximativ 41 miliarde tone petrol, aproape cît rezervele de țiței ale Orientului Mijlociu. Rezerve foarte mari mai au și U.R.S.S., S.U.A., R. P. Chineză. Și la noi se găsesc șisturi bituminoase. În curînd în România, printre primele țări din lume, va începe utilizarea lor drept combustibil pentru o centrală termoelectrică proiectată pe baza unei concepții originale și echipată cu utilaje construite în țară. Este posibil ca în momentul în care citiți aceste rînduri termocentrala de la Anina, care folosește în loc de cărbuni șisturi bituminoase măcinate și care va avea o putere instalată de 990 MW (3 grupuri de cîte 330 MW), să fi produs deja primele milioane de kWh.

Estimările asupra resurselor de combustibil folosit pot suferi însă pe viitor corecții destul de importante, pe măsură ce zone tot mai întinse din suprafața planetei vor fi explorate cu mijloace din ce în ce mai perfecționate.

Energia hidroelectrică, această sursă nobilă și inepuizabilă, se menține în limite destul de modeste. Cu toate că producția de energie electrică din surse hidro va crește continuu, se estimează că în anul 2000 ea va acoperi doar 4,2—4,4% din consumul total de energie și 9—10% din consumul de energie electrică. Dacă întregul potențial hidroenergetic mondial amenajabil tehnic și economic (la nivelul actual) ar fi valorificat, energia hidroelectrică ar putea acoperi 9—10% din consumul total de energie al anului 2000 și 20—23% din consumul de energie electrică. Investițiile ridicate pe care le reclamă amenajările hidroenergetice și unele probleme ecologice frînează însă dezvoltarea mai rapidă a acestora.

La proiectarea sistemelor hidroenergetice trebuie să se țină seamă și de faptul că ele pot provoca uneori dezechilibre în natură destul de grave. Marile cantități de apă din lacurile de acumulare exercită presiuni suplimentare asupra subsolului, ceea ce în anumite zone poate conduce la declanșarea unor cutremure. Se citează cazul lacului Meade, format prin ridicarea în 1935 a barajului Hoover, care în zece ani de la umplerea sa a provocat peste 600 de cutremure locale, precum și cazul lacurilor formate în urma ridicării barajelor de la Kremasta (Grecia), Monteynard (Franța), Kariba (Zambia) și Koyna (India). La acesta din urmă, în momentul umplerii lacului s-a declanșat un cutremur cu magnitudinea 6,5, care a provocat multe pagube și chiar victime omenești. Frecvența cutremurelor provocate de unele din marile lacuri de acumulare este maximă în primele luni ale umplerii lacului și apoi descrește în timp de cîteva luni sau chiar de cîțiva ani.

Marele baraj de la Assuan (Egipt) a determinat o diminuare a aportului de apă dulce al Nilului în Mediterana, ceea ce a condus la o reducere a dezvoltării planctonului (aliment de bază al multor specii de pește) și la scăderea producției de pește. Odată cu regularizarea debitelor fluviului s-au înmulțit considerabil unele specii de melci de apă dulce, gazdele unui vierme parazit care provoacă la om o boală a căilor biliare. Înainte viața acestor melci era de scurtă durată, doar în timpul revărsărilor Nilului.

În apele lacului format în spatele barajului Kariba, din Zambia, semințele aduse de vînt și de păsări au dus la dezvoltarea unei vegetații monstruoase. Pătura vegetală de la suprafața lacului este așa de groasă încît un om poate merge pe ea. Peștii au murit prin asfixiere și s-au înmulțit o serie

de insecte patogene. Lacul a devenit un focar de miasme periculoase.

Marile lacuri artificiale pot produce şi modificări ale climatului unor zone, prin creşterea umidităţii aerului, formarea de ceţuri, favorizarea ploilor, scăderea temperaturii etc. În unele zone, în special în cele secetoase, aceste modificări pot fi binevenite, dar în altele pot fi nedorite.

Energia nucleară, cea mai tînără dintre sursele care contează astăzi în acoperirea consumului de energie, va cunoaşte în viitor o dezvoltare continuă. În preajma anilor 1970 se considera că în anul 2000 energia nucleară va acoperi 50% din consumul total de energie. Se constată însă că aceste prevederi au fost mult prea optimiste. O serie de factori au frînat dezvoltarea mai rapidă a energeticii nucleare, printre care cei mai importanţi sînt creşterea costurilor echipamentelor, instalaţiilor şi serviciilor, care au depăşit de fiecare dată evaluările anterioare, şi mişcările unor grupări ale ecologiştilor dintr-o serie de ţări. Se apreciază astăzi că la nivelul anului 2000 va fi acoperit din resurse nucleare circa 15% din consumul total de energie şi circa 35% din consumul de energie electrică. Alte prognoze merg chiar pînă la 17% respectiv 40%. Este vorba despre o amînare destul de importantă a programelor nucleare ale tuturor ţărilor, dar nu de o schimbare a tendinţei energeticii actuale, caracterizată prin trecerea masivă la folosirea energiei nucleare. Pînă spre sfîrşitul secolului vor predomina centralele nucleare aşa-zise „clasice", dotate cu reactori cu neutroni lenţi, care consumă însă cantităţi mari de combustibil nuclear (gradul de utilizare al potenţialului energetic al uraniului este doar de aproximativ 2% în aceşti reactori), iar după anul 2000 vor predomina centralele dotate cu reactori cu neutroni rapizi, numiţi şi supraregeneratori. La aceştia din urmă reacţia de fisiune se produce cu o intensitate mult mai mare, iar randamentul lor global se ridică la 60—70%. Prin fisiunea combustibilului nuclear în acest tip de reactori iau naştere alte elemente fisionabile, care la rîndul lor vor putea fi folosite în alţi reactori. Supraregeneratorii produc mai mult combustibil nuclear decît consumă, furnizînd, pe lîngă energie, şi importante cantităţi de material fisionabil pentru centralele cu reactori de tipul actual. Deja sînt în funcţiune centrale experimentale dotate cu reactori rapizi. Se speră ca după 1990 să se poată trece la construcţia de centrale industriale cu reactori supra-

regeneratori, folosindu-se astfel cu o eficienţă de cîteva zeci de ori mai mare combustibilii nucleari. Energia nucleară este singura dintre sursele noi de energie care a ajuns la maturitate tehnică şi este competitivă economic. Ea este capabilă să producă la nivelul necesităţilor şi să înlocuiască într-o măsură din ce în ce mai mare sursele energetice clasice.

În prezent centralele electrice de termoficare nucleare sînt în număr redus. Energia nucleară va trebui să înlocuiască în viitor folosirea combustibililor clasici nu numai pentru producerea de energie electrică ci şi pentru producerea de energie termică. În ultimul timp se constată un interes sporit pentru centralele nuclearoelectrice de termoficare (CNET). În Suedia, Finlanda, R.F.G., S.U.A., U.R.S.S., Danemarca, Elveţia, Franţa au fost întocmite proiecte pentru alimentarea cu energie termică din CNET a unor oraşe şi obiective situate la distanţe de 15—50 km şi chiar la 120 km, în cazul unui proiect suedez. În R.F.G. s-a propus realizarea, pînă în anul 2000, a unei reţele de termoficare unice în care să debiteze toate CNET şi CET clasice şi la care să fie racordate oraşele cu peste 40 000 locuitori.

Stocarea deşeurilor radioactive, care ajung la volume destul de mari, reprezintă de fapt problema numărul unu a folosirii energiei nucleare. Ele pot fi depozitate în mine părăsite, în grote la mari adîncimi şi mai ales în saline părăsite (plasticitatea sării asigurînd o bună etanşeitate în caz de deformări seismice sau tectonice). Depozitarea deşeurilor radioactive în oceane este interzisă printr-un acord internaţional, avînd în vedere pericolul eliberării lor înainte de dezactivarea totală. Nu este exclus ca într-un viitor mai îndepărtat să fie posibilă evacuarea lor în spaţiul extraterestru. Problema deşeurilor nu constituie însă un pericol real, deoarece ele nu vor fi eliberate în nici un caz în mediul ambiant atîta vreme cît sînt periculoase. Cu timpul ele devin inofensive, partea periculoasă din deşeuri avînd viaţa limitată de procesul natural de înjumătăţire. Acest timp este însă uneori, din păcate, de ordinul sutelor sau miilor de ani. În momentul de faţă nu se cunoaşte nici o metodă de distrugere a radioactivităţii acestor deşeuri. Pentru tratarea şi stocarea lor au fost găsite însă soluţii satisfăcătoare, iar cercetările pentru vitrifierea şi păstrarea deşeurilor în depozite geologice promit să ofere soluţii din cele mai sigure. Dacă exceptăm problema deşeurilor radioactive, care îşi găseşte rezolvarea aşa cum am văzut

mai sus, poluarea mediului înconjurător de către centralele nuclearoelectrice este extrem de redusă. Dezvoltarea centralelor nucleare va însemna o reducere a poluării atmosferei în comparație cu centralele termoelectrice. Barierele multiple care se prevăd în calea pericolului potențial al unor accidente și al răspîndirii în mediul ambiant a unor cantități dăunătoare de substanțe radioactive sînt extrem de eficiente. Măsurile de securitate care se prevăd fac practic imposibile accidentele care să afecteze populația. Statisticile engleze arată că din 1962, de cînd a început să se țină o evidență centralizată, în toate centralele nucleare nu a existat nici o îmbolnăvire datorită radiațiilor ; în schimb cîteva zeci de persoane dintre cele care lucrează în acest domeniu și-au pierdut viața în accidente de automobil.

Sursele noi de energie, neconvenționale, sînt încă în general în faza premergătoare ieșirii lor pe piață. În toate țările se fac eforturi însemnate în vederea introducerii și extinderii utilizării unor noi surse de energie. Unele dintre acestea se folosesc și în prezent cu rezultate bune, dar, în majoritatea cazurilor, ele nu au ajuns la maturitatea tehnică necesară pentru a putea fi introduse pe scară largă, iar prețul energiei obținute este încă destul de mare. Momentul folosirii la scară comercială este pentru unele mai apropiat, pînă în 1990, pentru altele mai îndepărtat (1990—2000), iar pentru unele după anul 2000. Se consideră că la începutul noului mileniu va avea loc o extindere rapidă a noilor surse.

În acest domeniu previziunile sînt însă cele mai contradictorii, mergîndu-se de la un pesimism exagerat pînă la un optimism care de multe ori nu are acoperire. O prognoză înțeleaptă și realistă, care trebuie să fie și mobilizatoare, nu trebuie să confunde însă dorințele cu probabilitățile. Pentru anul 2000 se prevede în general o contribuție a noilor surse la acoperirea consumului total de energie primară de numai 2%. În valoare absolută aceasta reprezintă însă echivalentul a 500 milioane tone combustibil convențional. O mare parte din energia obținută din sursele noi va fi energie electrică. Dar să vedem pe scurt care sînt posibilitățile de utilizare a unora dintre aceste surse și speranțele care se pun în ele pentru viitor.

Energia solară. Specialiștii apreciază că modalitatea imediată prin care energia solară va putea contribui la acoperirea consumului de energie este valorificarea ei sub formă

de căldură de joasă temperatură pentru încălzirea clădirilor și obținerea de apă caldă precum și pentru procese termice în industrie și agricultură. S-a ajuns la concluzia că sistemele bazate pe folosirea energiei solare, chiar în regiunile cu grad mediu de însorire, ar putea asigura în viitor 50—60% din totalul de energie necesar anual pentru încălzire, răcire, condiționarea aerului și prepararea apei calde menajere. Instalațiile sînt de pe acum competitive economic în condițiile unei producții de serie mare, în întreprinderi specializate. Principalul aport al energiei solare în balanța energetică va fi în domeniul acoperirii unei părți din necesarul de căldură de joasă temperatură, cel puțin în următorii 10—15 ani. S-ar putea însă să fie realizate instalații pentru obținerea de electricitate la prețuri competitive, prin folosirea energiei solare, mai repede decît ne putem aștepta în momentul de față.

Energia electrică poate fi obținută din energia solară pe două căi : prin conversie termodinamică (filiera captare-căldură-energie mecanică-electricitate) și prin conversie directă (transformarea directă a energiei solare în electricitate). În cazul conversiei termodinamice, centralele solare se dezvoltă pe două căi diferite : centrale cu colectoare plane, care nu pot fi realizate decît pentru puteri mici (de ordinul sutelor de kW), dar sînt simple, și centrale cu colectoare reflectante, care concentrează radiația solară pe generatorul de abur amplasat în vîrful unui turn. Se apreciază că centralele cu turn vor putea deveni competitive pînă în anul 2000, la puteri de pînă la 100 MW. Se ridică însă o serie de probleme : suprafețele mari ocupate de reflectoare, caracterul intermitent al producției de energie electrică, radiație solară slabă în unele zone etc. Utilizarea pe scară largă a energiei solare ridică și problema dezvoltării tehnologiilor de acumulare a căldurii și energiei, în paralel cu existența unor surse clasice, de rezervă. În prognoza dezvoltării noile surse de producere a energiei electrice la noi în țară, se consideră că este posibilă instalarea unei puteri în centralele electrice solare însumînd circa 100 MW pînă în anul 2000.

Mult mai multe speranțe sînt legate de conversia fotovoltaică a energiei solare în energie electrică. Deocamdată electricitatea obținută pe această cale costă foarte scump (de circa 200 ori mai mult decît cea obținută din surse clasice), dar este posibil să devină competitivă chiar înainte de anul 2000.

Energia eoliană. Folosirea acesteia pentru producerea de energie mecanică este competitivă încă de pe acum. În privința obținerii de energie electrică, reducerea prețurilor instalațiilor la aproximativ jumătate din cele actuale le va face competitive cu alternativele clasice. Cele mai mari posibilități le au centralele amplasate în zonele litorale sau chiar pe platforme în largul coastelor (unde vînturile sînt mai uniforme). Instalațiile eoliene, construite în zone cu vînturi favorabile în apropierea unor amenajări hidroenergetice, ar putea fi folosite pentru pomparea apei în lacurile de acumulare. S-ar simplifica astfel foarte mult problemele legate de acumularea energiei precum și cele legate de calitatea energiei electrice livrate de acest tip de instalații. Și la noi se prevede utilizarea energiei eoliene în unele zone favorabile, cum ar fi litoralul Mării Negre, Delta Dunării, Dobrogea, Bărăganul, Moldova de Nord, dar se apreciază că ea nu va putea avea un aport însemnat în balanța de energie, în țara noastră nefiind vînturi puternice pe durate mari de timp.

Energia geotermică este competitivă chiar din etapa actuală, atît pentru producerea de căldură, cît și pentru producerea de energie electrică. Potențialul exploatabil de energie geotermică este evaluat la un echivalent de 10 000 miliarde tcc, din care un sfert ar putea fi valorificat în viitor în condiții tehnice și economice bune. Trebuie însă rezolvate o serie de probleme legate de poluarea mediului ambiant, coroziunea instalațiilor și conductelor, pericolul apariției unor instabilități ale terenurilor de sub care se pompează apa caldă (declanșare de seisme) etc. Apele termale au în general un conținut foarte mare de săruri, pot aduce la suprafață mari cantități de nisip și argilă, uneori sînt radioactive, iar aburul geotermic are un conținut, cîteodată foarte ridicat, de hidrogen sulfurat, bor și amoniac. Efectele nefavorabile pentru mediul ambiant pot fi însă contracarate prin luarea unor măsuri adecvate, iar problemele tehnologice vor fi cu siguranță rezolvate.

În diferite țări, printre care și țara noastră, se valorifică deja ape termale pentru obținerea de căldură și utilizarea lor se va extinde în viitor. Puterea instalată în centralele electrice care folosesc aburul geotermic se prevede că va crește într-un ritm destul de rapid. Spre exemplu, unele prognoze din S.U.A. prevăd pentru această țară o putere instalată în centralele electrice care utilizează abur geotermic de circa 40 000 MW în anul 2000. În viitor se va utiliza și căldura

rocilor din adîncuri. Una din metode este pomparea de apă la mare adîncime, unde aceasta se va transforma în vapori care vor fi aduși la suprafață pentru a acționa turbinele. În țara noastră, prin descoperirea și valorificarea unor surse de abur geotermic sau punerea la punct a unor procedee economice de valorificare a căldurii rocilor din adîncuri, s-ar putea ca în viitor să aibă loc o creștere însemnată a ponderii energiei geotermice.

Energia valurilor. Studiile și cercetările efectuate în diverse țări pentru realizarea unor dispozitive care să transforme energia mișcării ondulatorii a valurilor în energie mecanică și apoi în energie electrică au dovedit că acest lucru este posibil din punct de vedere tehnic. Este însă necesar să se realizeze instalații competitive din punct de vedere economic cu alte surse de energie. Pentru țara noastră se estimează că energia valurilor nu va aduce un aport însemnat în balanța de energie, datorită întinderii mici a litoralului românesc și faptului că în Marea Neagră nu sînt valuri de înălțimi mari pe perioade lungi de timp, ca în cazul țărilor situate pe malul oceanelor.

Energia mareelor este valorificată deja în așa-numitele centrale maremotrice, dar pe scară foarte redusă. Estuarul unui fluviu sau rîu este închis printr-un baraj, în spatele căruia se formează un lac de acumulare care se umple la flux și se golește la reflux, apa acționînd astfel turbinele unei centrale hidroelectrice. La Rance, în Franța, există o centrală de acest tip cu o putere de 240 MW (singura centrală maremotrică de putere mare în momentul de față). Mai sînt cîteva centrale de putere mică în R. P. Chineză și U.R.S.S. Pentru viitor se preconizează construirea de centrale cu puteri de 7 000—14 000 MW, dar ele necesită investiții foarte mari și sînt disponibile numai în anumite intervale din cursul unei zile. Amplasamentele favorabile sînt limitate de faptul că mareele trebuie să aibă o amplitudine puternică, de circa 10 m, și o frecvență regulată. Pentru țara noastră astfel de centrale nu prezintă interes.

Căldura mărilor și oceanelor. Prin folosirea diferenței de temperatură între straturile de apă de la suprafață și cele din adîncuri (hidrocarburi ușoare, cu temperatura de fierbere scăzută, se evaporă în straturile calde de la suprafață, se destind în turbine și apoi se condensează în straturile reci din adîncuri, ciclul reluîndu-se) se poate obține energie mecanică

și prin intermediul acesteia energie electrică. În faza de studiu și cercetare mai sînt și alte procedee. Este însă prea devreme pentru a putea trage o concluzie asupra competitivității acestei surse, chiar în cazul puținelor bazine marine din zonele calde unde sînt diferențe importante de temperatură între straturile de apă de la suprafață și cele din adîncuri. În condițiile oferite de Marea Neagră această sursă nu prezintă interes.

Potențialul energetic al mărilor și oceanelor este imens, dar deocamdată nu se pot face aprecieri asupra contribuției sale viitoare la acoperirea necesarului de energie, posibilitățile de valorificare ale acestuia nefiind încă pe deplin conturate.

În privința producerii energiei electrice se menține tendința dezvoltării masive în continuare a centralelor termoelectrice clasice, care și la sfîrșitul secolului vor fi principalul producător de energie electrică (53—55%), în paralel cu concentrarea lor în unități de puteri din ce în ce mai mari.

În privința centralelor hidroelectrice se merge în general pe două căi: realizarea unor centrale gigant (cu puteri de ordinul miilor de megawați) pe marile fluvii, cale urmată în special de S.U.A., U.R.S.S., Canada, Brazilia și alte țări care dispun de condiții naturale favorabile, sau amenajarea economică a unor centrale pe rîuri mai mici, folosind o cît mai mare parte din potențialul acestora. Cu toate că ele vor cunoaște o dezvoltare considerabilă, puterea instalată probabil dublîndu-se, contribuția lor la acoperirea necesarului de energie electrică va scădea pînă la 9—10% spre sfîrșitul secolului. Este posibil însă ca în viitor să se intensifice construirea de hidrocentrale mai mult decît se prevede acum, avînd în vedere că noi amenajări hidroenergetice vor deveni rentabile dacă prețul combustibililor va crește în continuare.

Centralele nuclearoelectrice sînt cele a căror contribuție, atît în valoare absolută, cît și în procente, va crește încontinuu. Se prevede că în anul 2000 puterea instalată în centralele electrice nucleare de pe glob va ajunge la 1 300 000—1 600 000 MW, contribuția lor la producția de energie electrică ajungînd la peste 35%.

În privința noilor surse de energie și contribuția acestora la acoperirea consumului de energie electrică, previziunile sînt foarte dificile. Avînd însă în vedere că se prevede, pentru anul 2000, acoperirea a circa 2% din consumul total de ener-

gie din surse noi și că o bună parte din acești 2% va fi obținută sub formă de energie electrică, putem trage concluzia că pînă la sfîrșitul secolului sursele noi nu vor contribui într-o măsură prea însemnată la producerea electricității necesare omenirii.

Se pune întrebarea dacă dezvoltarea producerii de energie electrică (combinată în multe cazuri cu producerea de energie termică, sub formă de abur sau apă caldă) din centrale nucleare nu va reduce în viitor importanța rețelelor electrice de interconexiune între sistemele energetice sau între diferitele zone ale acestora.

Pentru a fi economice, centralele electrice nucleare trebuie să aibă puteri unitare mari și să funcționeze la o sarcină cît mai uniformă. Potențialul hidroenergetic economic amenajabil trebuie să fie integral folosit, atît datorită unor considerente economice cît și datorită faptului că hidrocentralele cu lacuri de acumulare și cele cu pompare-acumulare permit acoperirea vîrfurilor de sarcină în condiții avantajoase, ceea ce nu este realizabil (cel puțin în faza actuală și pentru încă o bună perioadă de timp) în centralele nucleare și dificil de realizat în foarte multe dintre centralele termoelectrice. Amplasarea centralelor electrice este dictată în general de o serie de factori, ca: apropierea de zăcămintele de combustibil, surse de apă pentru răcire și adaus, spații pentru instalații și pentru depozite, apropierea de consumatorii de căldură (în cazul centralelor de termoficare), existența unor căderi de apă etc. Tendința este ca atît centralele nuclearoelectrice și termoelectrice, cît și, în măsura posibilităților, centralele hidroelectrice, să aibă puteri instalate cît mai mari, pentru a se reduce cheltuielile de investiții pe fiecare kW instalat și a se obține randamente cît mai bune, deci și un cost scăzut al energiei. Se urmărește, de asemenea, ca regimul de funcționare al diferitelor categorii de centrale (de bază, de vîrf, de termoficare etc.) să fie cît mai apropiat de regimul optim. Toate aceste considerente conduc la concluzia că nu ne putem dispensa de rețelele de interconexiune și de sistemele energetice, chiar în epoca folosirii din ce în ce mai intense a energiei nucleare pentru producerea de energie electrică, ba din contră, ele vor căpăta o importanță și mai mare. Se experimentează deja pentru folosirea în viitor a tensiunii de 1 500 kV și de 1 900 kV și se fac studii și cercetări pentru tensiunea de 3 000 kV.

Azi nivelul sistemelor energetice naţionale este depăşit de formaţiile mult mai întinse ale sistemelor energetice internaţionale. Acestea pun o serie de probleme noi şi deosebite, datorită faptului că ele sînt un ansamblu de sisteme între care există mu'te condiţionări şi puncte de vedere diferite asupra siguranţei, regimurilor de funcţionare, perspectivei de viitor etc. Se complică astfel foarte mult găsirea unor soluţii privind planificarea şi regulile de exploatare a ansamblului, armonizarea interselor fiind o problemă destul de dificilă. Dar, cu toate aceste dificultăţi, dezvoltarea sistemelor internaţionale rămîne avantajoasă şi pentru viitor. Sistemele formate se întind pe un număr din ce în ce mai mare de fusuri orare, ceea ce face ca vîrfurile şi golurile de sarcină din diferite sisteme componente să nu coincidă, avantaj foarte mare, care conduce la o mai bună utilizare a puterilor instalate în centralele ansamblului. De asemenea, se măreşte siguranţa prin folosirea rezervelor comune de puteri şi reţele de transport şi se realizează optimizarea la un nivel superior a funcţionării centralelor.

Prin interconectarea sistemelor naţionale şi internaţionale la nivelul unui continent apar sistemele continentale. În Europa există deja două mari sisteme internaţionale: sistemul est-european, din care face parte şi ţara noastră, şi sistemul vest-european. Dacă acestea vor fi interconectate în viitor, lucru care se studiază în prezent, va apărea un sistem energetic continental european, care va avea de fapt un caracter intercontinental, sistemul energetic al U.R.S.S. fiind întins foarte mult şi în Asia. În S.U.A., unde sistemele energetice aparţin în general unor companii de electricitate şi prin întinderea şi puterile lor corespund fizic unor sisteme naţionale, prin interconectarea sistemului est-S.U.A. cu sistemele vest-S.U.A. s-ar realiza un sistem de nivel continental, la acesta legîndu-se şi sistemele canadiene.

Dacă se are în vedere evoluţia din trecut a sistemelor energetice şi tendinţele actuale, se ajunge la concluzia că în perspectivă este posibilă organizarea unui sistem intercontinental unic, sistemul energetic planetar, întins peste toate fusurile orare. Reţeaua intercontinentală de foarte înaltă tensiune ar putea fi alcătuită atît din linii aeriene, soluţie utilizată foarte mult azi, dar mai ales din linii electrice supraconductoare (cabluri criogenice), care ar permite transporturi intercontinentale masive de energie electrică, la tensiuni mult mai mici decît cele folosite la liniile electrice clasice. Staţiile de la capetele acestor linii ar fi mai ieftine, iar pierderile în reţele mult mai mici, ceea ce ar face transportul energiei electrice în curent continuu mult mai interesant decît în prezent. Prin dezvoltarea rapidă a electronicii, automaticii, tehnicilor de calcul şi informaticii, supravegherea, controlul şi comanda unui astfel de sistem uriaş ar fi deplin posibile.

Sistemele energetice vaste permit integrarea în condiţii foarte bune a centralelor nucleare. Ele permit de asemenea utilizarea în condiţii avantajoase a celor mai ieftine surse de energie, oriunde s-ar găsi ele, chiar şi a celor cu caracter discontinuu (maree, valuri, eoliene, solare etc.). Rămîn însă de rezolvat unele probleme, dintre care cea mai importantă este găsirea unor soluţii pentru a face imposibilă apariţia unor avarii care să afecteze zone întinse ale sistemului sau chiar întreg sistemul, avarii care azi mai sînt încă posibile şi sînt de gravitate excepţională în marile sisteme, paralizînd întreaga activitate economică şi socială. Sistemele întinse trebuie să se poată desface şi în sisteme locale, iar soluţia ideală pentru evitarea unor avarii generalizate este să se recurgă la desfacerea în mai multe zone a unui sistem uriaş, numai temporar, atunci cînd dispozitivele de supraveghere automată dau semnalul de pericol.

În ceea ce priveşte ţara noastră, *Programul-directivă de cercetare şi dezvoltare în domeniul energiei pe perioada 1981—1890 şi orientările principale pînă în anul 2000*, document de importanţă majoră pentru dezvoltarea energeticii româneşti, concretizează acţiunile ce se impun în acest sector vital pentru dezvoltarea întregii activităţi economico-sociale. De o însemnătate esenţială este întreprinderea unor acţiuni concrete în direcţia exploatării şi utilizării raţionale a energiei. Obiectivul central este ca *România să devină, în viitorul deceniu, independentă din punct de vedere al combustibilului şi energiei.*

De o mare importanţă este identificarea şi introducerea în circuitul economic a noi rezerve de combustibil. Pentru aceasta este necesară intensificarea activităţii de cercetare geologică pentru descoperirea de noi resurse, pe tot cuprinsul ţării, inclusiv în zonele mai greu accesibile şi la mari adîncimi, precum şi pe platforma continentală a Mării Negre. O altă sarcină deosebit de importantă este aceea a valorifi-

cării întregului potențial energetic de care dispune țara noastră, în vederea creșterii rapide a producției interne de energie și asigurarea bazei energetice necesare dezvoltării activității economice și sociale. Valorificarea intensă a potențialului hidroenergetic tehnic amenajabil (apreciat la circa 40 miliarde kWh pe an) va conduce la un grad de utilizare a acestuia de 65% în 1990 și de 100% în anul 2000, față de 30% în 1980.

Se va trece la exploatarea resurselor mai puțin accesibile sau mai sărace în conținut util și se va acorda prioritate extracției acelor categorii de combustibili din care există rezerve mai mari (cărbuni, șisturi bituminoase). Se va limita extracția hidrocarburilor, în vederea menținerii unui grad corespunzător de asigurare cu rezerve geologice.

O mare dezvoltare va cunoaște energetica nucleară. Se prevede ca puterea instalată în centralele nucleare să ajungă la 3 960 MW în 1990 și la aproximativ 10 000 MW în anul 2000. Structura producției de energie electrică, prevăzută pentru anul 1990, este următoarea: hidroelectrică 24%, nucleroelectrică 17—18%, pe cărbuni și șisturi combustibile 44%, pe hidrocarburi 5—4% și pe energie solară, alte surse noi de energie și resurse energetice recuperate 10%. Se va acorda o atenție deosebită dezvoltării tehnologiilor necesare punerii în valoare a surselor noi de energie (geotermică, solară, eoliană, a valurilor etc.), precum și folosirii resurselor energetice recuperate. În anul 2000 acestea vor trebui să asigure împreună cel puțin 20% din energia electrică necesară.

O importanță deosebită o prezintă măsurile pe linia economisirii energiei și reducerii substanțiale a consumurilor. De asemenea, folosirea de deșeuri industriale și menajere în scopuri energetice, precum și utilizarea resurselor secundare (recuperate) la producerea de energie electrică.

Înfăptuirea sarcinilor stabilite în *Programul-directivă* va determina o puternică dezvoltare a bazei energetice a țării noastre și va crea condițiile pentru intensificarea și aprofundarea relațiilor economice și de cooperare, pe tărîm energetic, între România și celelalte țări ale lumii.

ANEXAA

CÎTEVA NOȚIUNI DESPRE CURENTUL ELECTRIC

Curentul continuu

Dacă tensiunea aplicată la capetele unui circuit este constantă, curentul electric care se stabilește prin acesta va fi cu atît mai mare cu cît rezistența pe care o opune circuitul la trecerea curentului (*rezistența electrică* a circuitului, notată cu R) va fi mai mică.

Intensitatea curentului rezultat este egală cu tensiunea aplicată la capetele circuitului respectiv împărțită la rezistența acestuia.

$$I = \frac{U}{R}$$

Unitatea de măsură pentru rezistențele electrice este numită ohm, după numele fizicianului german G. S. Ohm.

Diversele substanțe opun rezistențe diferite la trecerea curentului electric, rezistivitatea substanței respective fiind o caracteristică fizică a acesteia. Cele mai bune conducătoare de electricitate sînt metalele, iar dintre acestea argintul, cuprul, aurul și aluminiul. Materiale ca porțelanul, sticla, masele plastice, cauciucul, lemnul uscat, mătasea etc. au rezistență extrem de mare și practic nu permit trecerea curentului electric prin ele, fiind numite materiale izolante sau dielectrice.

Energia electrică (W) pe care o furnizează o sursă de curent este direct proporțională cu cantitatea de electricitate (Q) care circulă prin circuitul exterior și tensiunea la bornele sursei (U).

$$W = QU$$

Dar cum cantitatea de electricitate este egală cu intensitatea curentului electric (I) înmulțită cu timpul (t) cît circulă acesta, atunci

$$W = UIt$$

Puterea electrică (P) furnizată de sursă fiind cantitatea de energie electrică pe care aceasta o dă într-o secundă, ea va fi egală cu energia împărțită la timpul cît durează furnizarea și deci

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

Puterea curentului electric se măsoară în waţi (W), iar energia acestuia în waţi-secundă.

Acestea fiind unităţi de măsură mici, în tehnică se folosesc unităţi care sînt multipli ai watt-ului, iar pentru energia electrică timpul se ia în ore.

Astfel, pentru măsurarea puterii electrice se folosesc ca unităţi kilowattul (kW) = 1 000 W, megawattul (MW) = = 1 000 kW și gigawattul (GW) = 1 000 MW, iar pentru măsurarea energiei electrice kilowattul-oră (kWh) = 1 000 Wh, megawattul-oră (MWh) = 1 000 kWh, gigawattul-oră (GWh) = = 1 000 MWh și chiar terawattul-oră (TWh) = 1 000 GWh.

Puterea și energia electrică consumate de un receptor se exprimă prin aceleași formule, luîndu-se tensiunea aplicată la bornele aparatului respectiv și curentul care circulă prin acesta. Un bec electric a cărui putere este de 60 W, tensiunea de alimentare fiind de 220 V, va fi parcurs de un curent de 0,273 A și va consuma într-o oră o cantitate de energie electrică de 60 Wh (0,06 kWh), în zece ore de 600 Wh (0,6 kWh), iar în cincizeci de ore de 3 000 Wh (3 kWh). Dacă este înlocuit cu un bec de 40 W, acesta va fi parcurs de un curent de 0,18 A și va consuma într-o oră 0,04 kWh, în zece ore 0,4 kWh, iar în cincizeci de ore 2 kWh.

Un bec cu o putere de 60 W, a cărui tensiune de alimentare este însă de două ori mai mică (110 V), va lumina la fel ca în primul caz și va consuma aceleași cantităţi de energie electrică, dar va fi parcurs de un curent de două ori mai mare (0,45 A). Folosind tensiuni mai mari putem obţine aceleași puteri cu curenţi mai mici, lucru foarte important pentru mărirea capacităţii de transport a reţelei electrice.

Trecînd printr-o rezistenţă, curentul electric provoacă încălzirea acesteia. Energia electrică se transformă în energie termică. Cantitatea de energie electrică care se transformă în căldură este proporţională cu rezistenţa, pătratul curentului care circulă prin aceasta și timpul cît circulă.

$$W = RI^2t$$

Curentul alternativ

În cazul curentului alternativ, fenomenele sînt mult mai complicate decît în cazul curentului continuu. Legile curentului continuu nu se pot aplica curentului alternativ decît în mică măsură, în anumite cazuri particulare. Legile curentului alternativ sînt însă valabile și pentru curentul continuu, aceșta fiind considerat ca un caz particular al curentului alternativ, a cărei frecvenţă este zero.

Am văzut că o rezistenţă introdusă într-un circuit de curent continuu se opune trecerii curentului electric prin ea. Același lucru se întîmplă și într-un circuit de curent alternativ. Aplicînd o tensiune la capetele unei rezistenţe, curentul care va circula prin aceasta va fi cu atît mai mic cu cît rezistenţa are o valoare mai mare. Rezistenţa unui conductor depinde numai de caracteristicile sale fizice și este independentă de frecvenţa curentului. Tensiunea aplicată rezistenţei și curentul prin aceasta vor trece simultan prin valoarea maximă și valoarea zero, vor avea tot timpul același sens și își vor schimba sensul în același moment. Curentul este în acest caz *în fază* cu tensiunea aplicată (fig. 1 a).

Ca și la curentul continuu, curentul care circulă prin rezistenţă, numit *curent activ*, va fi:

$$I = \frac{U}{R}$$

Dacă aplicăm însă o tensiune alternativă unei bobine, curentul electric alternativ care va circula prin aceasta va da naștere unui cîmp magnetic alternativ, care va induce în spirele bobinei o tensiune electromotoare. Are loc fenomenul de *autoinducţie* (tensiunea electromotoare este indusă în spirele bobinei chiar de către cîmpul magnetic creat de curentul care circulă prin bobină). Tensiunea electromotoare de autoinducţie se opune variaţiei curentului prin bobină. Cînd tensiunea aplicată bobinei are valoarea maximă, curentul are valoarea zero, apoi, pe măsură ce valoarea tensiunii scade, valoarea curentului crește, pentru a ajunge la valoarea sa maximă atunci cînd tensiunea a ajuns la valoarea zero. Tensiunea își schimbă sensul și începe să crească din nou, iar curentul începe să scadă spre zero, ajungînd la valoarea zero în momentul în care tensiunea ajunge la valoarea sa maximă, dar cu sensul schimbat (fig. 1. b). Curentul care circulă prin

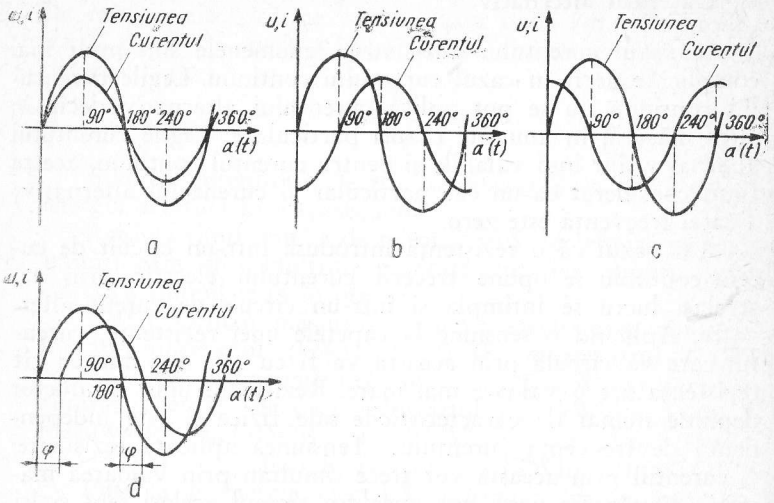


Fig. A 1. Curentul şi tensiunea în circuitele de curent alternativ.

bobină este defazat cu 90° în urma tensiunii aplicată acesteia.

O bobină este caracterizată prin *inductanţa* sa. Aceasta este o mărime fizică, caracteristică bobinei respective, a cărei valoare depinde de numărul de spire al bobinei, diametrul spirelor, lungimea bobinei, materialul din care este confecţionat miezul acesteia, forma bobinei, şi este notată cu litera L.

O bobină introdusă într-un circuit de curent alternativ, ca şi o rezistenţă, se opune trecerii curentului electric. Spre deosebire însă de rezistenţă, în cazul unei bobine opoziţia depinde nu numai de valoarea inductanţei acesteia, ci şi de frecvenţa curentului. Aplicînd o tensiune alternativă la capetele unei bobine, curentul care circulă prin aceasta va fi cu atît mai mic cu cît frecvenţa curentului este mai mare. În circuitul de curent alternativ bobina va fi caracterizată printr-o mărime numită *reactanţă*, a cărei valoare depinde atît de valoarea inductanţei bobinei, cît şi de frecvenţa curentului. Reactanţa se notează cu litera X şi se măsoară în ohmi, la fel ca rezistenţa.

Reactanţa unei bobine se numeşte *reactanţă inductivă*, se notează cu X_L, şi este egală cu :

$$X_L = 2\pi f L,$$

iar curentul care circulă prin bobină, numit *curent inductiv*, va fi :

$$I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi f L}.$$

Atunci cînd frecvenţa este foarte mare, reactanţa bobinei va fi de asemenea foarte mare, iar curentul prin bobină foarte mic, practic neglijabil.

În cazul în care tensiunea aplicată bobinei este continuă ($f = 0$), curentul care circulă prin aceasta va fi de asemenea continuu, cîmpul magnetic nu mai este variabil în timp şi în bobină nu se mai produce fenomenul de autoinducţie. Reactanţa bobinei este zero şi valoarea curentului care circulă prin aceasta va depinde numai de rezistenţa conductorului din care este confecţionată bobina.

Dacă aplicăm acum o tensiune alternativă unui condensator, la început, cînd acesta este descărcat, curentul va fi maxim şi condensatorul se încarcă. Pe măsură ce tensiunea creşte curentul de încărcare scade şi în momentul în care tensiunea ajunge la valoarea maximă curentul ajunge la valoarea zero. Tensiunea începînd să scadă, condensatorul începe să se descarce şi curentul începe să crească, dar acum are sensul schimbat. Pe măsură ce tensiunea scade curentul de descărcare creşte şi atinge valoarea maximă în momentul în care tensiunea a atins valoarea zero (fig. A 1.c). Curentul care circulă prin condensator este defazat înaintea tensiunii aplicată acestuia cu 90°.

Un condensator este caracterizat prin *capacitatea* sa. Aceasta este o mărime fizică, caracteristică condensatorului respectiv, a cărei valoare depinde de suprafaţa plăcilor (armăturilor) acestuia, distanţa şi materialul dintre ele, forma lor, şi este notată cu litera C.

Spre deosebire de bobină, curentul prin condensator va fi cu atît mai mare cu cît capacitatea acestuia va fi mai mare şi cu cît frecvenţa curentului va fi mai mare. În circuitul de curent alternativ, condensatorul va fi caracterizat prin reactanţa sa, a cărei valoare depinde de valoarea capacităţii condensatorului şi de frecvenţa curentului. Reactanţa unui condensator se numeşte *reactanţă capacitivă*, se notează cu X_C, şi este egală cu :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

iar curentul care circulă prin condensator, numit *curent capacitiv*, va fi :

$$I_C = \frac{U}{X_C} = U 2\pi f C$$

Dacă tensiunea de alimentare este continuă, prin circuitul în care este montat un condensator nu va mai circula nici un curent. Frecvenţa fiind zero, reactanţa condensatorului este infinită. Pentru curentul continuu, materialul izolant dintre plăcile condensatorului constituie o întrerupere a circuitului. Dacă tensiunea este însă alternativă, condensatorul se încarcă şi se descarcă periodic, cu o frecvenţă egală cu a tensiunii aplicate, şi prin circuit va circula un curent.

În circuitele reale nu avem însă numai reactanţe inductive sau numai reactanţe capacitive, ci ambele feluri, precum şi rezistenţe. Curentul capacitiv fiind defazat cu 90° înaintea tensiunii, iar curentul inductiv cu 90° în urma acesteia, cei doi curenţi sînt defazaţi între ei cu 180°. Ei vor fi tot timpul de sens opus unul faţă de celălalt. Dacă cei doi curenţi sînt egali, suma lor va fi egală cu zero. Reactanţa capacitivă are un efect contrar reactanţei inductive. Dacă într-un circuit avem înseriate o reactanţă inductivă şi una capacitivă, reactanţa rezultată va fi

$$X = X_L - X_C$$

Dacă în circuitul respectiv, în serie cu reactanţele, avem şi o rezistenţă, aceasta împreună cu reactanţa constituie *impedanţa* circuitului. Impedanţa se măsoară tot în ohmi şi se notează cu Z. Deoarece rezistenţa nu provoacă defazarea curentului faţă de tensiunea care i se aplică, iar reactanţele provoacă defazarea acestuia cu 90° faţă de tensiunea aplicată, rezistenţa nu se poate aduna algebric cu reactanţa. Rezistenţa se consideră decalată cu 90° faţă de reactanţă şi impedanţa circuitului se va determina geometric.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Curentul în circuit va fi :

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

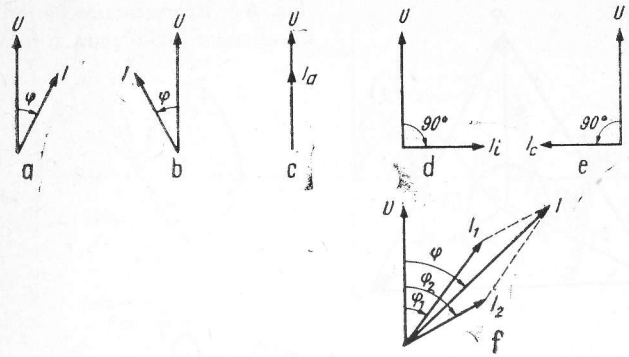


Fig. 2. Reprezentarea vectorială a curenţilor şi tensiunilor.

Curentul în acest caz este defazat faţă de tensiunea cu un unghi φ (fi), a cărui valoare depinde de rezistenţele şi reactanţele din circuit (fig. A 1, d).

Un curent care este în fază cu tensiunea este un *curent activ*, iar un curent care este defazat cu 90° faţă de tensiune (înaintea sau în urma acesteia) este un *curent reactiv*.

Efectuarea calculelor cu mărimi alternative sinusoidale (tensiuni, curenţi etc.) este extrem de complicată. Pentru a se putea efectua calculele mai uşor, mărimile alternative sinusoidale se reprezintă cu ajutorul vectorilor, asemănător cu modul de reprezentare al forţelor în mecanică. Se obţine astfel diagrama vectorială a acestor mărimi.

Să reprezentăm vectorial o tensiune alternativă şi un curent defazat în urma acesteia cu un unghi oarecare φ (fig. A2, a).

Fixăm direcţia şi sensul vectorului care reprezintă tensiunea. Odată acestea stabilite, direcţia şi sensul vectorului care reprezintă curentul se va lua faţă de acest vector, considerat vector de origine. Lungimea vectorilor respectivi reprezintă, la o scară aleasă de noi, valoarea eficace a tensiunii şi curentului. Unghiul format de cei doi vectori reprezintă unghiul de defazaj între tensiune şi curent.

Mergînd în sensul acelor de ceasornic, vectorul pe care îl întîlnim primul este defazat înainte faţă de vectorul pe care îl întîlnim după aceea. În cazul nostru, dacă curentul ar fi fost defazat înaintea tensiunii, ar fi fost reprezentat în stînga vectorului tensiunii (fig. A 2.b). Un curent activ (în fază cu

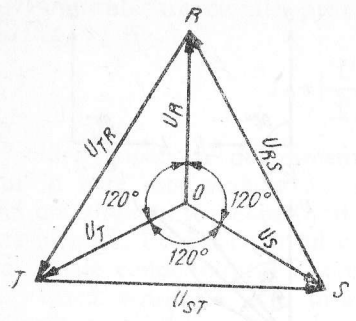


Fig. A.3. Reprezentarea vectorială a tensiunilor într-o rețea trifazată.

tensiunea) este reprezentat ca în fig. A 2.c, un curent inductiv (defazat cu 90° în urma tensiunii) ca în fig. A 2.d, iar un curent capacitiv (defazat cu 90° înaintea tensiunii) ca în fig. A 2.e.

Calculele se pot face acum mult mai simplu, folosind legile calculului vectorial. Spre exemplu, pentru a aduna doi curenți (I_1 și I_2) adunăm cei doi vectori prin care sînt reprezentați și vectorul rezultant (I) reprezintă curentul sumă a celorlalți doi (fig. A 2.f). În afară de valoarea curentului rezultant se află imediat și unghiul de defazaj al acestuia față de tensiune (φ) precum și sensul său.

Să reprezentăm acum vectorial tensiunile într-o rețea trifazată (fig. 3). U_R, U_S, U_T, sînt tensiunile pe fază, iar U_{RS}, U_{ST}, U_{TR}, sînt tensiunile între faze.

Am văzut că puterea pe care o dă un generator, sau pe care o absoarbe un receptor, la un moment dat, este egală cu produsul dintre tensiunea la bornele acestuia și curentul care circulă prin el. În cazul curentului alternativ, tensiunea și curentul sînt variabile în timp, își schimbă mereu valoarea și sensul. În consecință și puterea este variabilă în timp.

În cazul unei rezistențe, tensiunea care i se aplică și curentul prin ea sînt în fază (nu sînt defazate între ele). Puterea în orice moment are sens pozitiv, deoarece curentul are mereu același sens cu tensiunea. Puterea va circula tot timpul de la sursă către rezistență (fig. A4. a).

Energia, care este egală cu puterea înmulțită cu timpul, este reprezentată prin suprafața cuprinsă între curba puterii și axa orizontală și are de asemenea sens pozitiv. Rezistența absoarbe tot timpul putere (deci și energie) de la sursa de curent. Ea se încălzește, energia electrică se transformă în energie calo-

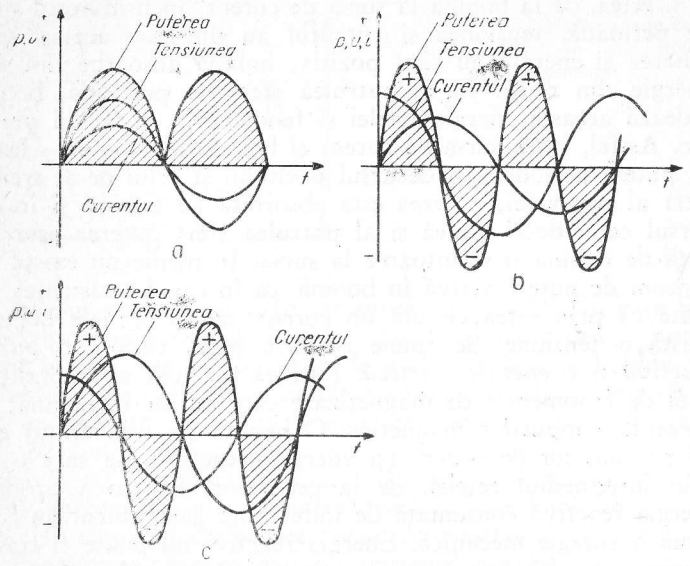


Fig. A. 4. Puterea în circuitele de curent alternativ.

rică. În acest caz, avem de-a face cu o *energie activă* și o *putere activă*.

Energia activă poate fi transformată în căldură în rezistențe, în lucru mecanic (energie mecanică) în motoarele electrice, în energie luminoasă în becurile electrice etc. Curentul electric, care este în fază cu tensiunea, este un curent activ.

În cazul unei bobine însă, unde curentul este defazat în urma tensiunii cu 90°, se observă că în primul sfert de perioadă tensiunea și curentul au același sens și deci puterea are sens pozitiv (fig. A 4.b). De asemenea și energia are sens pozitiv.

Curentul în bobină crește, bobina absoarbe energie din rețea și o înmagazinează în cîmpul său magnetic. Puterea, deci și energia, circulă, prin rețea, de la sursa de curent la bobină. În următorul sfert de perioadă curentul nu mai are același sens cu tensiunea, puterea are acum sens negativ. La fel și energia.

Curentul în bobină este în scădere, bobina cedează rețelei energia pe care a înmagazinat-o în cîmpul său magnetic în primul sfert de perioadă. Puterea și energia circulă acum,

prin rețea, de la bobină la sursa de curent. În următorul sfert de perioadă, tensiunea și curentul au din nou același sens, puterea și energia au sens pozitiv, bobina absoarbe din nou energie din rețea. În al patrulea sfert de perioadă, bobina cedează această energie rețelei și fenomenele se repetă periodic. Astfel, între sursa de curent și bobină are loc un schimb de putere periodic. În decursul primului și celui de-al treilea sfert al perioadei, puterea este absorbită de bobină și în decursul celui de-al doilea și al patrulea sfert puterea este cedată de bobină și se întoarce la sursă. În medie nu există un consum de putere activă în bobină, ca în cazul rezistenței, cu toate că prin rețea circulă un curent, iar la bornele bobinei există o tensiune. Se spune că prin rețea circulă o *putere reactivă* și o *energie reactivă*. Puterea reactivă este condiționată de fenomenele de magnetizare care au loc în bobină, de prezența cîmpurilor magnetice. O bobină (o inductanță) este un consumator de putere (și energie) reactivă, pe care o ia, prin intermediul rețelei, de la generator. Pentru a produce energia reactivă consumată de inductanțe generatorul nu consumă o energie mecanică. Energia reactivă nu poate fi transformată în altă formă de energie. Prin circuitul format din generator, rețea, bobină, circulă însă un curent electric, care este cu atît mai mare cu cît puterea reactivă consumată este mai mare. Pentru ca tensiunea la bornele generatorului să se mențină constantă, trebuie să mărim curentul de excitație al acestuia pe măsură ce puterea reactivă pe care o furnizează crește.

În cazul unei capacități (condensator), unde curentul este defazat înaintea tensiunii cu 90°, în primul sfert de perioadă condensatorul se încarcă, absoarbe energie de la rețea și o înmagazinează în cîmpul său electric (fig. A 4.c). În al doilea sfert de perioadă, condensatorul se descarcă și energia înmagazinată în cîmpul său electric este cedată rețelei. În următorul sfert de perioadă condensatorul se încarcă din nou și fenomenele se repetă în continuare, periodic. Pe parcursul unei perioade puterea circulă, prin rețea, de la generator la condensator în două sferturi de perioadă, iar în celelalte două de la condensator la generator. În medie, ca și în cazul bobinei, nu există un consum de putere activă în condensator.

Dacă de la aceeași sursă se alimentează o bobină și un condensator, curenții prin acestea fiind defazați unul cu 90° în urma tensiunii, iar celălalt cu 90° înaintea acesteia vor fi

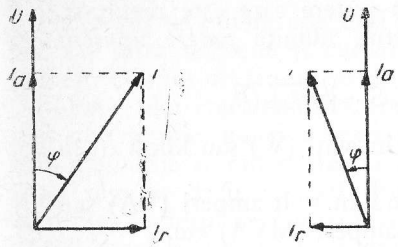


Fig. A.5. Descompunerea unui curent în cele două componente.

tot timpul de sens opus. În sferturile de perioadă în care bobina absoarbe putere de la rețea condensatorul cedează putere către aceasta, iar în sferturile de perioadă în care bobina cedează puterea către rețea condensatorul absoarbe putere de la aceasta. Efectul produs de condensator este contrar celui produs de bobină. Un condensator produce energie și putere reactivă, iar o bobină consumă energie și putere reactivă. În cazul condensatoarelor, puterea reactivă este condiționată de prezența cîmpurilor electrice create de acestea.

Producerea, transportul și consumul energiei reactive nu are însă loc în realitate fără nici un consum de energie activă. Conductoarele din care sînt făcute bobinele generatorului, circuitele rețelei, bobina consumatoare de putere reactivă, au o rezistență electrică. Curentul care circulă prin acestea provoacă încălzirea lor, se consumă deci și energie activă pe care trebuie să o producă generatorul.

Într-un circuit real există atît rezistențe, cît și reactanțe. Curentul este defazat față de tensiune cu un unghi oarecare (fig. A 5). Curentul I poate fi descompus în două componente: una în fază cu tensiunea, care constituie componența activă a curentului (Ia), și una defazată cu 90° față de aceasta, care constituie componenta reactivă a curentului (Ir). Se vede imediat că

$$Ia = I \cos \varphi \; ; \; Ir = I \sin \varphi \, .$$

Puterea activă (P) în circuitul respectiv va fi:

$$P = UIa = UI \cos \varphi,$$

iar puterea reactivă (Q) va fi

$$Q = UIr = UI \sin \varphi.$$

Energia activă și energia reactivă vor fi egale cu puterile respective înmulțite cu timpul cît sînt utilizate.

Se mai definește însă și o putere care este rezultată din înmulțirea tensiunii cu curentul, numită *putere aparentă* și notată cu S:

$$S=UI \text{ deci } S=\sqrt{P^2+Q^2}$$

Puterea activă se măsoară în waţi (W) sau kilowaţi (kW), megawaţi (MW) etc.

Puterea aparentă se măsoară în volt-amperi (VA) sau kilovoltamperi (kVA), megavoltamperi (MVA) etc.

Puterea reactivă se măsoară în volt-amperi reactivi (VAr) sau kilovolt-amperi reactivi (kVAr), megavolt-amperi reactivi (MVAr) etc.

Energia activă se măsoară în kilowaţi-ore (kWh), megawaţi-ore (MWh) etc., iar energia reactivă în kilovolt-amperi reactivi ore (kVAr h) etc.

Nu se definește o energie aparentă. Puterea aparentă servește pentru a ne arăta gradul de încărcare a generatoarelor, transformatoarelor etc., dar o energie aparentă nu ar avea nici un sens.

Pentru aceeași putere activă, cu cît puterea reactivă va fi mai mare și puterea aparentă va fi mai mare.

Prin bobinajul unui generator sau transformator circulă curentul I. Acestea se dimensionează pentru o anumită tensiune U și pentru un anumit curent I, deci pentru o anumită putere aparentă S. Un generator sau transformator, care a fost dimensionat pentru o tensiune nominală Un, iar bobinajul său pentru un curent nominal In, înseamnă că a fost construit pentru o putere aparentă nominală $Sn=Un\ In$. De aceea, puterea nominală la generatoare, ca și la transformatoare, se dă în kVA (VA, MVA), fiind vorba de o putere aparentă.

La grupurile generatoare (ansamblul motor de antrenare-generator) puterea se dă în kW (MW), aceasta reprezentînd puterea nominală a motorului de antrenare a generatorului (turbină etc.), fiind deci vorba de o putere activă.

La motoarele electrice se indică puterea pe care o poate dezvolta motorul, deci fiind vorba de o putere activă se dă în W, kW etc.

Raportul dintre puterea activă și puterea aparentă se numește *factor de putere*.

$$\text{Factorul de putere} = \frac{\textit{Puterea activă } (P)}{\textit{Puterea aparentă } (S)} = \cos \gamma$$

Factorul de putere este deci egal cu cosinusul unghiului de defazaj între tensiune și curent și în limbaj obișnuit se mai numește *cosinus de fi* sau *cos de fi*.

Dintre doi consumatori care absorb din rețea aceeași putere activă, dar nu și aceeași putere reactivă, consumatorul care absoarbe o putere reactivă mai mare va încărca mai mult rețeaua decît celălalt. Puterea sa aparentă va fi mai mare, iar factorul de putere mai mic.

În cazul sistemelor de curenți trifazați, puterea activă va fi suma puterilor active pe cele trei faze:

$$P=3\ U_f\ I \cos \varphi.$$

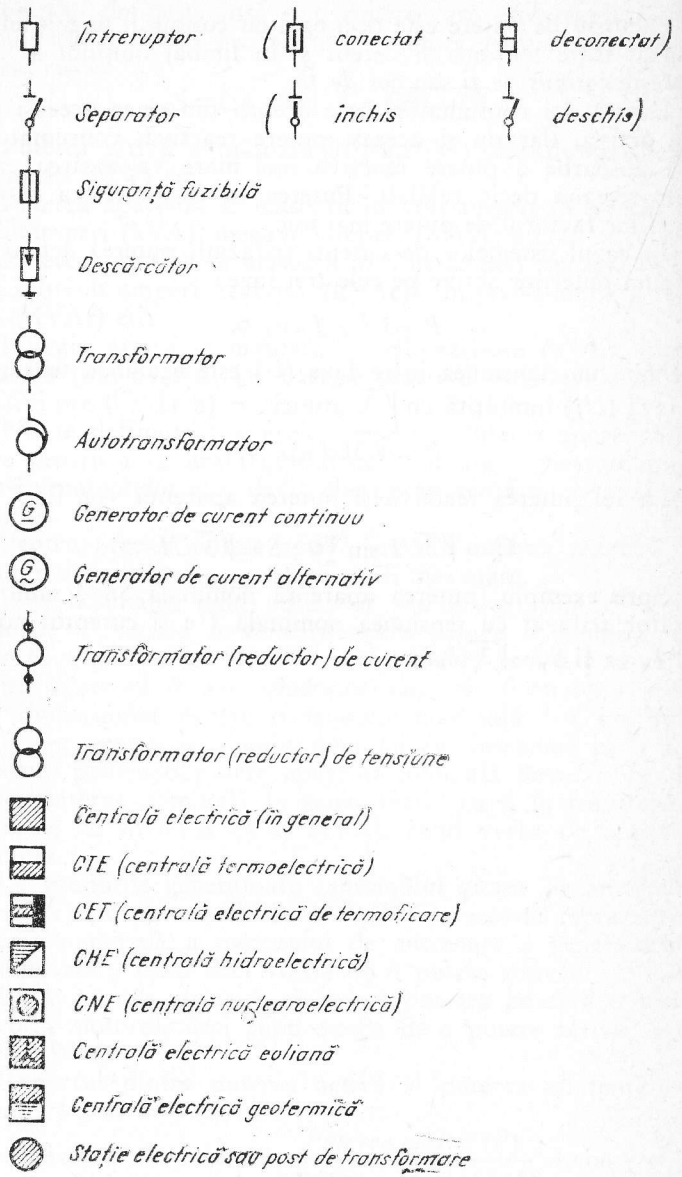
Dar cum tensiunea între faze (U) este egală cu tensiunea pe fază (Uf) înmulțită cu $\sqrt{3}$, atunci

$$P=\sqrt{3}UI \cos \varphi.$$

La fel puterea reactivă și puterea aparentă vor fi

$$Q=\sqrt{3}UI \sin \varphi\ ;\ S=\sqrt{3}\,UI.$$

Spre exemplu, puterea aparentă nominală Sn a unui generator trifazat cu tensiunea nominală Un și curentul nominal I_n va fi $S_n=\sqrt{3}\,U_nI_n$.



Semne convenționale folosite în schemele electrice.

CUPRINS

CUVÎNT ÎNAINTE 5

Capitolul 1
DE LA TALES DIN MILET
LA CENTRALELE ELECTRICE NUCLEARE . . . 9

Capitolul 2
CURENTUL ELECTRIC, ACEST URIAŞ INVIZIBIL . . 17

Capitolul 3
SURSELE DE ENERGIE ELECTRICĂ
ALE SISTEMULUI ENERGETIC:
CENTRALELE ELECTRICE 42

Capitolul 4
CĂLĂTORIA CURENTULUI ELECTRIC
DE LA CENTRALA ELECTRICĂ
PÎNĂ LA LOCUINŢA NOASTRĂ 90

Capitolul 5
SISTEMUL ENERGETIC 166

Capitolul 6
O VIZITĂ LA DISPECERUL ENERGETIC
NAŢIONAL 206

Capitolul 7
UN ENERGETICIAN DE MARE IMPORTANŢĂ:
CONSUMATORUL 217

Capitolul 8
O PRIVIRE SPRE VIITOR 225

ANEXA A
Cîteva noţiuni despre curentul electric 239

ANEXA B
Semne convenţionale folosite în schemele electrice . . . 252

BIBLIOGRAFIE 253